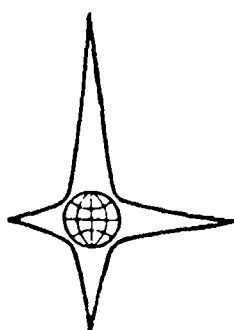


В
ИРЕ
УКИ
И
ИКИ

А. Азимов

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ БИОЛОГИИ





ИЗДАТЕЛЬСТВО

«МИР»

A Short History of Biology

Isaak Asimov

London

1965

А. АЗИМОВ

Краткая история биологии

*Перевод с английского
и предисловие
д-ра биол. наук
В. В. Алпатова*

*Издательство „Мир“
Москва 1967*

В книге известного популяризатора науки А. Азимова рассматривается сложный путь развития биологии с древних времен до наших дней. Автор уделяет внимание всем отраслям биологии, показывая их во взаимодействии со смежными науками.

Читатель узнает о вкладе в биологию великих ученых всех времен — Гарвея, Левенгука, Геккеля, Дарвина, Пастера, Ивановского, Мечникова, Павлова и других.

Написанная просто и доступно, книга будет интересным и полезным чтением для преподавателей высшей школы, учителей, студентов, школьников и для всех любителей естественных наук.

*Редакция научно-фантастической
и научно-популярной литературы*

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Не стоит ссылаться на авторитеты выдающихся ученых для подтверждения мысли: чтобы понять любое явление, необходимо ознакомиться с историей его возникновения и развития. Любую науку как элемент современной культуры и цивилизации нельзя правильно оценить, если не знать, как эта наука возникла и как она развивалась. Не зная прошлого, нельзя понять настоящего и будущего.

Для всех, кто интересуется наукой, знакомство с ее историей чрезвычайно полезно. Оно показывает, каким титаническим трудом многих поколений дается решение той или иной проблемы, как часто ученые идут к научной истине не прямым путем, а временно заходя в тупик, и как безбрежен океан окружающих человека явлений, изучить и овладеть которыми так нужно человечеству, стремящемуся к лучшей жизни.

Это в полной мере относится к биологии, от которой в ближайшее время можно ждать гораздо больше теоретических обобщений и практических выводов, чем от ее старших сестер — физики, химии, астрономии.

Предлагаемая читателю книга «Краткая история биологии» принадлежит перу американского писателя Айзека Азимова, биохимика по специальности, очень плодовитого автора научно-популярных книг по естествознанию, в частности биологии. Число их приближается к двадцати, и русские переводы некоторых уже вышли. К данной книге нельзя подходить со строгими требованиями, которые обычно предъявляются к солидным монографиям по истории той или иной науки. Автор предлагает вниманию читателя своеобразные исторические очерки, прослеживая развитие узловых проблем естествознания и биологии, начиная

от воззрений древнегреческих философов и кончая молекулярной биологией сегодняшнего дня.

Суть той или иной проблемы на каждом этапе ее развития раскрыта предельно доступно — это относится к несомненным достоинствам книги. Хроникально-календарная форма подачи материала делает ее весьма оригинальным естественноисторическим справочником. Но от этого книга кое-что и теряет: борьба идей в области естествознания остается за ее страницами.

Азимов доводит изложение материала почти до наших дней, что придает описанию актуальность и современность. Эта в основном очень привлекательная часть книги таит в себе и некоторую опасность: ведь автор излагает новейшие открытия в процессе их становления. Легко может случиться, что за время, прошедшее с момента выхода в свет английского издания, часть этих открытий уже подверглась изменениям либо уточнениям.

Необходимо сказать также, что автор уделил недостаточно внимания достижениям нашей отечественной биологии. Чтобы дать возможность читателям глубже ознакомиться с ними, в конце книги приводится небольшой список литературы.

Оценивая содержание книги в целом, мы присоединяемся к заключительным фразам предисловия к английскому изданию, написанного крупным биологом, членом Королевского общества, бывшим директором Британского музея Гэвином де Биром: «Широта полотна, смелость кисти и выразительность стиля увлекают читателя. Книга не претендует на исчерпывающее изложение и является тем, что стоит в ее заглавии, — краткой историей биологии».

В. В. Алпатов

Зарождение науки

Биология как учение о живых организмах возникла, когда человек наконец осознал свое отличие от окружающего его неподвижного, безжизненного мира. Однако еще долго, на протяжении многих столетий, биологию нельзя было назвать наукой в строгом смысле этого слова. Люди пытались избавляться от недугов, облегчать боль, восстанавливать здоровье, спасать от смерти. Делали они это посредством религиозных или магических обрядов в надежде умиловить доброго или злого духа и тем самым изменить ход событий.

Вскрывая туши животных, приносимых в жертву или используемых для приготовления пищи, человек не мог не обратить внимания на строение их внутренних органов, однако его целью при этом было не изучение животных, а предсказание будущего. Поэтому первыми анатомами следует считать жрецов, которые по форме и внешнему виду органов животных стремились предсказать судьбы властителей государств.

Несомненно, даже в те времена, когда человек полностью находился во власти суеверий, накапливалось множество полезных сведений. Египтяне, умевшие искусно бальзамировать тела умерших и делать мумии, обладали практическими знаниями анатомии человека. В Кодексе Хаммурапи, составленном в XVIII в. до н. э. (Вавилон), был даже подробный устав, регулирующий деятельность врачей; их знания, основанные на бережно передаваемых из поколения в поколение наблюдениях, безусловно, приносили определенную пользу.

Однако, до тех пор пока люди верили, что миром управляют злые силы, а природа находится во власти сверхъестественного, прогресс науки шел чрезвычайно

медленно. Даже наиболее одаренные были заняты не изучением видимого мира, а попытками с помощью некоего откровения понять невидимый и управляющий всем мир.

Конечно, и тогда находились исследователи, которые отвергали подобную точку зрения и сосредоточивали свое внимание на изучении реального, воспринимаемого органами чувств мира. Однако в обстановке всеобщей вражды они не могли действовать сколько-нибудь активно, даже имена их до нас не дошли.

И только древние греки, этот умный, беспокойный и любознательный народ, подвергавший сомнению все и всяческие авторитеты, изменили положение вещей. Подавляющее большинство греков, равно как и население других стран, жило в окружении невидимого мира богов и полубогов. Хотя созданные их воображением боги гораздо привлекательнее языческих божеств других народов, представления греков отличались почти такой же наивностью. Они, например, считали, что болезни вызываются стрелами бога Аполлона, которого можно и разгневать, и умилостивить жертвоприношением или лестью.

Однако примерно в 600 г. до н. э. на берегах Эгейского моря, в Ионии, появилась философская школа, которая внесла новую струю в господствовавшие до этого представления. По преданию одним из древнейших философов этой школы был Фалес (конец VII — начало VI вв. до н. э.). Философы ионийской школы отвергали сверхъестественное, полагая, что жизнь Вселенной течет по строго определенному и неизменному пути. Каждое явление имеет свою причину, в свою очередь каждая причина неизбежно вызывает определенный эффект без вмешательства чьей-либо воли извне. Кроме того, философы допускали, что «естественный закон», правящий миром, доступен разуму человека, его можно вывести на основании определенных предпосылок или наблюдений. Подобная точка зрения определила дальнейший прогресс в изучении внешнего мира.

К сожалению, у нас слишком мало сведений об этих древних философах, труды их утеряны, но имена сохранились, так же как и основа самого учения. Более того, рационализм как философская система (то

есть вера в то, что мир можно понять разумом, а не благодаря откровению), который берет начало с философских воззрений древней ионийской школы, никогда не умирал. И молодость его была бурной.

Ионийская школа

Рационализм вошел в биологию в тот период, когда строение тела животных начали изучать по-настоящему, а не с целью разгадать божественную волю. По преданию первым стал вскрывать животных, чтобы описать увиденное, Алкмеон (VI в. до н. э.). Он описал глазной нерв и наблюдал за развитием куриного эмбриона. Видимо, именно Алкмеона следует считать основоположником *анатомии* (изучения строения живых организмов) и *эмбриологии* (изучения развития организмов). Алкмеону принадлежит также описание узкой трубки, соединяющей среднее ухо с глоткой. К сожалению, это открытие прошло незамеченным и вернулись к нему лишь через два тысячелетия.

Однако самым известным именем, связанным с рационалистическим началом в биологии, было имя Гиппократ (около 460—377 гг. до н. э.). О нем известно только, что он родился и жил на острове Кос, против ионийского побережья. На острове был храм Асклепия, или Эскулапа, греческого бога медицины. Храм был чем-то вроде современного медицинского факультета, а его жрецы — своеобразными врачами.

Большой заслугой Гиппократ перед биологией было то, что он отвел Асклепию почетное место чисто формально: по его мнению, боги не оказывают никакого влияния на медицину. Гиппократ считал, что в здоровом теле все органы работают слаженно и гармонично, чего нельзя сказать о больном организме. Задача врача и состоит в том, чтобы внимательно следить за изменениями в организме и вовремя исправлять или устранять их вредные последствия. Сама деятельность врача, исключая молитвы и жертвоприношения, изгнание злых духов или умиловление богов, заключается в том, чтобы научить пациентов отдыхать, соблюдать чистоту, как можно дольше находиться на свежем воздухе и питаться простой, здоровой пищей. Любое излишество так

или иначе нарушает равновесие в функционировании организма; поэтому рекомендовалось во всем соблюдать умеренность.

Короче говоря, по Гиппократу, роль медика сводилась к тому, чтобы предоставить свободу исцеляющим силам организма. Для того времени эти советы были просто превосходными.

Традиции Гиппократа сохранились и после его смерти. Долгие годы врачи считали за честь поставить его имя на своих работах, поэтому сейчас практически нельзя сказать, какие из дошедших до нас работ действительно принадлежат Гиппократу. Так, например, «клятва Гиппократа», которую и по сей день произносят выпускники медицинских институтов, вероятнее всего, была составлена спустя шесть столетий после его смерти. С другой стороны, можно полагать, что один из древнейших трактатов, описывающих эпилепсию, по-видимому, написан самим Гиппократом. Он является отличным примером приложения философии рационализма к биологии.

Эпилепсия — расстройство функции головного мозга (до сих пор еще недостаточно объясненное), при котором нарушено нормальное регулирование мозгом жизнедеятельности организма. При легкой форме больной неверно истолковывает чувственные впечатления и поэтому часто страдает галлюцинациями; при более тяжелой — из-под контроля внезапно выходит мышечная деятельность: больной теряет сознание и падает, судорожно подергиваясь и вскрикивая; иногда во время припадков он наносит себе тяжелые увечья.

Приступ эпилепсии длится недолго, но вызывает тягостное чувство страха у окружающих. Люди, не понимающие всей сложности функционирования нервной системы, наивно полагают, что, если человек двигается не по собственной воле и при этом сам наносит себе повреждения, он «одержим», его телом владеет некая сверхъестественная сила.

Автор трактата «О священных болезнях», написанного примерно в 400 г. до н. э. и, возможно, принадлежащего перу самого Гиппократа, резко выступает против этой распространенной точки зрения. Гиппократ отвергал всякое вмешательство потусторонних сил и считал, что они не могут быть источником или

причиной какого-либо заболевания, в том числе и эпилепсии. По его мнению, эпилепсия, подобно другим болезням, вызывается естественными причинами и, следовательно, должна подвергаться рациональному лечению. Вся современная наука зиждется на этой точке зрения, и, если сейчас нам потребуется назвать имя основоположника биологии, его важнейший труд и время, когда он работал, то лучше всего сослаться на Гиппократ и его книгу «О священных болезнях», написаную в 400 г. до н. э.

Афинская школа

Греческая биология, как и вся эллинская культура в целом, достигла высшего этапа своего развития при Аристотеле (384—322 гг. до н. э.). Аристотель, уроженец Северной Греции, был одно время воспитателем Александра Македонского. Расцвет его творческой деятельности относится к тому времени, когда он преподавал в созданной им знаменитой школе в Афинах. Аристотель принадлежит к числу самых разносторонних и глубоких древнегреческих философов. Его сочинения охватывают все области знания того времени — от физики до литературы и от политики до биологии. Наибольшую известность получили его труды по физике, относящиеся главным образом к строению неодушевленной природы и происходящим в ней процессам, однако, как выяснилось позднее, почти все они оказались неверными.

Наряду с физикой, философией и другими науками Аристотель очень увлекался биологией, в частности, много времени посвятил изучению морских организмов, — как утверждают, это было одно из любимых его занятий. Труды Аристотеля по биологии относятся к лучшим в его наследии, однако впоследствии они были почти забыты.

Аристотель внимательно изучал внешний вид и поведение живых существ (то есть *естественную историю*). Он насчитал около пятисот различных «видов» животных и указал на их отличия. Сам по себе этот список, может быть, и не заслуживал особого внимания, но Аристотель на этом не остановился. Он, например, выявил, что различных животных можно

сгруппировать, но проводить градацию следует очень осторожно. Так, наземных животных легко разделить на четвероногих (зверей), летающих пернатых (птиц), а оставшихся объединить в одну группу под общим названием черви. Морских обитателей можно объединить в одну группу под названием рыбы. Однако с помощью даже такой грубой классификации древнегреческий ученый не всегда мог определить, к какой группе относится животное.

Например, внимательно наблюдая за дельфинами, Аристотель установил, что, хотя последние по внешнему виду и месту обитания и представляют рыбоподобных животных, по другим важным признакам они далеки от рыб. Так, у дельфинов есть легкие, и дышат они воздухом. В отличие от рыбы дельфина можно утопить, если долго держать под водой. Кроме того, дельфины — животные теплокровные, а не холоднокровные. И, что самое важное, они рожают живых детенышей, которые еще в утробе матери питаются через плаценту. Во всем этом дельфины сходны с покрытыми шерстью теплокровными животными суши. По мнению Аристотеля, этих сходных признаков было вполне достаточно, чтобы объединить китообразных (киты, дельфины и морские свиньи) с сухопутными животными, а не морскими рыбами, — в этом он на два тысячелетия опередил свое время, ибо все античные и средневековые ученые продолжали объединять китообразных с рыбами. Заслугой Аристотеля следует считать и другой его вывод: он разделил покрытых чешуей рыб на две группы — рыбы с костным и рыбы с хрящевым, как у акулы, скелетом.

Классифицируя животных, Аристотель располагал объекты по мере их прогрессивного усложнения. От его острого взгляда не укрылось, что природа на пути к вершине мироздания — человеку — проходит различные стадии эволюции. Сообразно этому своему видению мира Аристотель разделил его на четыре царства: внизу — неодушевленный мир земли, воды и воздуха; чуть выше — растительный мир, еще выше — мир животных и, наконец, на самой вершине — мир человека. Неодушевленный мир существует, мир растений не только существует, но и размножается; мир животных существует, размножается и движется, а

человек не только существует, размножается и движется, но и мыслит.

В свою очередь растительный мир делится на простые и более сложные растения; мир животных — на животных с красной кровью и бескровных. К последним Аристотель относил (в порядке все возрастающей сложности) губок, моллюсков, насекомых, ракообразных и спрутов. Животные с красной кровью, имеющие, по его мнению, более высокую организацию, включают рыб, рептилий, птиц и зверей.

Аристотель обнаружил, что на этой лестнице жизни нет крутых ступеней и невозможно с уверенностью отнести тот или иной вид к определенной группе. Так, простейшие растения, казалось бы, едва проявляют признаки жизни, а простейшие животные (например, губки) почти не отличаются от растений и так далее.

Правда, у Аристотеля мы нигде не находим упоминания о том, что формы жизни постепенно превращаются в другие и что вышестоящее существо произошло от существа, стоящего на более низкой ступени развития. Как известно, именно эта концепция является ведущей в современной эволюционной теории, а Аристотель никогда не был эволюционистом. Однако созданная им «лестница жизни» неизбежно наталкивала ученых на такой ход мысли, который должен был привести к представлению об эволюции.

Мы можем считать Аристотеля основоположником *зоологии* (науки о животных); насколько позволяют судить дошедшие до нашего времени труды ученого, он в известной мере пренебрегал растениями. Однако после смерти Аристотеля созданную им афинскую школу философов возглавил его ученик Теофраст (372—287 гг. до н. э.), восполнивший этот пробел в наследстве своего учителя. Теофраст заложил основы *ботаники* (науки о растениях); в его сочинениях подробно описано около пятисот видов растений.

Александрийцы

После победного шествия Александра Македонского и завоевания им Персидской империи эллинская культура проникла в страны Средиземноморского бассейна. Египет подпал под власть Птолемеев

(потомков одного из военачальников Александра), и греки перебрались во вновь основанную столицу Александрию. Там был создан музей, который с полным правом можно считать прообразом современного университета. Александрийские ученые получили широкую известность своими исследованиями по математике, астрономии, географии и физике. И хотя биология не принадлежала к числу популярных в Александрии наук, однако и в ней можно найти по крайней мере два славных имени: это Герофил (расцвет его деятельности относится к 300-м годам до н. э.) и его ученик Эразистрат (250-е годы до н. э.).

В эпоху христианства Герофила и Эразистрата обвинили в том, что, изучая анатомию человека, они публично производили вскрытие трупов. Не исключено, что это вымысел. Герофил первым из ученых того времени обратил внимание на головной мозг как на орган мышления. Правда, до него на это же указывали Алкмеон и Гиппократ, в то время как Аристотель отводил головному мозгу лишь роль органа, предназначенного для охлаждения крови. Герофил установил различия между нервами чувствительными (воспринимающими ощущения) и двигательными (вызывающими мышечные сокращения), а также между артериями и венами, заметив, что первые пульсируют, а последние нет. Ему принадлежит описание печени и селезенки, сетчатки глаз и первого отдела тонкой кишки (который теперь получил название двенадцатиперстной кишки), а также половых органов женщин и предстательной железы мужчин.

В свою очередь Эразистрат обнаружил, что головной мозг разделен на более крупные полушария и меньший по размеру мозжечок. Он дал описание мозговых извилин и обратил внимание на то, что они ярче выражены у человека, чем у животных. Это наблюдение позволило ему связать количество извилин мозга с умственными способностями.

Остается только пожалеть, что после столь многообещающего начала александрийская школа в биологии сошла на нет. Фактически греческая наука начала хиреть примерно после 200 г. до н. э. Она процветала на протяжении четырех столетий, но в продолжительных междоусобных войнах греки безрассуд-

но растратили свою энергию и благосостояние. Они подпали под власть сначала Македонской империи, а затем Рима. Постепенно греческие ученые сосредоточили свое внимание на изучении риторики, этики, философии, отказались от изучения философии естествознания, то есть рационального изучения природы, которое зародилось еще в недрах ионийской школы.

Кроме того, на развитии биологии сказывался еще и тот немаловажный факт, что жизнь — живая природа — в отличие от неживого мира считалась священной, а потому неподходящей для рационалистического изучения. Анатомирование человеческого тела многим представлялось абсолютно недопустимым. Поэтому вскоре им и вовсе прекратили заниматься — вначале из-за морального осуждения, а затем под страхом нарушения законов. В ряде случаев возражения носили религиозный характер. Так, египтяне считали, что от целостности тела зависит благополучие загробной жизни покойника. У иудеев, а позднее у христиан вскрытие считалось кощунством, ибо, как они утверждали, человеческое тело создано по образу и подобию бога и потому священо.

Эпоха римского владычества

Господство римлян на Средиземноморье надолго приостановило развитие биологии. Образованным людям того времени казалось достаточным собрать во едино открытия прошлого, сохранить их и популяризовать среди сограждан. Так, Авл Корнелий Цельс (I в. до н. э. — I в. н. э.) свел наследие греков в своеобразный курс обзорных лекций. Раздел этого курса по медицине пережил современников. Тем самым Цельс как врач прославился гораздо больше, чем он того заслуживал.

Расширение территории Римской империи в результате успешных завоеваний позволило ученым собирать коллекции растений и наблюдать за животным миром в тех местах, которые были недоступны древним грекам. Так, греческий медик Диоскорид (I в. н. э.), служивший в римской армии, превзошел Теофраста: ему принадлежит описание шестисот видов растений. Особое внимание Диоскорид обращал на

целебные свойства растений, поэтому мы можем считать его основоположником *фармакологии* (учения о лекарствах).

Одним из известнейших римских естествоиспытателей считается Гай Плиний старший (23—79 гг. н. э.). В своей знаменитой энциклопедии (насчитывающей 37 томов) он свел воедино все труды античных ученых по естественной истории, которые ему удалось отыскать. Следует отметить, однако, что Плиний не всегда критически относился к используемым источникам. Хотя он собрал значительный фактический материал (заимствовав его в основном у Аристотеля), в его сочинениях немало басен и суеверий. Более того, Плиний отступил от философии рационализма. Сталкиваясь с различными видами растений и животных, он интересовался, какую роль каждый из них играет в жизни человека. По его мнению, все в природе существует ради человека: либо дает ему пищу, либо является источником лекарств, либо стимулирует физическое развитие или волю человека, либо, наконец, служит нравственным целям. Эти воззрения Плиния, совпадавшие с учением древних христиан, а кроме того, несомненный интерес, который люди проявляли к его домыслам, частично объясняют, почему труды Плиния сохранились до наших дней.

Последним биологом древности (в подлинном смысле этого слова) был Гален (131—200 гг. н. э.) — римский врач, уроженец Малой Азии. Первые годы врачебной практики Гален провел на арене гладиаторов. Лечение перенесших травму людей позволило ему собрать богатый анатомический материал. Однако, хотя его современники и не возражали против жестоких и кровавых игр гладиаторов в угоду извращенным вкусам развлекающейся публики, они продолжали неодобрительно смотреть на вскрытие человеческих трупов с научными целями. Поэтому анатомические исследования Гален проводил в основном на собаках, овцах и других животных. Как только представлялся случай, он вскрывал обезьян, находя в них большое сходство с человеком.

Гален оставил большое научное наследство. Его тщательно разработанные теории о функции различных органов человеческого тела сыграли существен-

ную роль в развитии медицины. Однако невозможность изучать человеческий организм по-настоящему, отсутствие в то время нужного инструментария, несомненно, послужили причиной ошибочности большинства его теорий. Не будучи христианином, Гален все же твердо верил в существование единого бога. Подобно Плинию, он полагал, что все живое сотворено с заранее намеченной целью. Повсюду в организме человека он усматривал проявление божественного труда. Такая точка зрения, вполне приемлемая в период подъема христианства, объясняет популярность Галена и в более позднее время.

Мрачное время

Господствующей религией в последние годы существования Римской империи было христианство. Когда западные провинции империи пали под нашествием германских племен, германцы также были обращены в христианство.

Но не христианство окончательно подавило греческую культуру: когда христианская религия набрала силу, античная наука уже влачила жалкое существование. И все же на протяжении многих веков христианство препятствовало возрождению науки. Эта религия в корне расходилась со взглядами ионийских философов. По представлению христиан, для человека важен не мир, воспринимаемый органами чувств, а «царство божие», достичь которого можно только путем откровения; единственным надежным путеводителем служит Библия, писания отцов церкви и духовное влияние самой церкви.

Приняв как аксиому веру в незыблемость законов природы, люди, естественно, считали, что все предметы в мире неизменны и подчинены богу, а его деяния осуществляются святыми. Многие верующие даже полагали, что изучение мира не что иное, как дьявольское наваждение, предназначенное для того, чтобы отвлечь от веры истинных христиан. Удивительно ли, что в глазах этих ортодоксальных приверженцев святой церкви наука становилась порождением зла.

К счастью, подобную точку зрения разделяли не все. Среди средневековых ученых находились люди, которые стремились сохранить научное наследие древних. К этой категории следует отнести англичанина Бида (673—735), которому удалось сберечь научные трактаты античных ученых. К сожалению, это были

в основном отрывки из произведений Плиния, не имевших большой ценности.

Вполне вероятно, что свет науки погас бы окончательно, если бы не арабы, принявшие ислам — религию, основанную в VII в. пророком Магомедом. Арабы, жители бесплодного Аравийского полуострова, устремились на юго-запад Азии и в Северную Африку. Уже к 730 г., через сто лет после смерти Магомета, мусульманство проникло на восток до Константинополя, а на запад — до границ Франции.

Нашествие мусульман наводило ужас на европейцев и было страшным бедствием для христиан, но в научном отношении оно оказалось поистине благотворным. Подобно римлянам, сами арабы не были оригинальными исследователями. Однако они не только перевели на арабский язык труды Аристотеля и Галена, но изучали их и комментировали. Крупнейшим восточным биологом был выдающийся таджикский ученый Абу-Али ибн-Сина, которого все мы знаем по его латинизированному имени как Авиценна (около 980—1037 гг.). Авиценне принадлежат трактаты, основанные на медицинских теориях Гиппократов и материале книг Цельса.

К тому времени, когда жил Авиценна, события стали принимать иной оборот, по крайней мере в Западной Европе. Отвоевав Сицилию, в течение двух столетий занятую мусульманами, армии христиан вновь захватили Испанию. К концу XI в. крестоносцы начали завоевание Ближнего Востока.

Вынужденное общение с мусульманами позволило европейцам осознать, что культура врага в некоторых отношениях не только превосходит их собственную культуру, но и является более изысканной. Европейские ученые заинтересовались мусульманской наукой и стали переводить арабские научные книги. В Испании работал выдающийся итальянский ученый Жерар Кремонский (1114—1187), который перевел на латинский язык труды Гиппократов и Галена, а также некоторые работы Аристотеля.

Немецкий ученый Альберт фон Больштедт, прозванный католическими богословами Великим (1193 или 1207—1280), был одним из ревностных поклонников вновь открытого для европейцев Аристотеля.

Хотя его собственные труды были не чем иным, как простым подражанием Аристотелю, они (в который раз!) послужили как бы фундаментом для возрождения греческой науки, которое позволило возводить новые этажи огромного здания европейской науки.

Одним из учеников Больштедта был итальянец Фома Аквинский (1225—1274). Фома Аквинский известен тем, что он пытался, и небезуспешно, поставить философию Аристотеля на службу христианской религии. Как рационалист, он считал, что разум, как и вся Вселенная, является созданием бога, следовательно, ни один здравомыслящий человек не может прийти к выводам, противоречащим христианскому учению. Значит, разумное мышление не является ни злом, ни вредом.

Так подготавливалась почва для возрождения рационализма.

Эпоха Возрождения

К практике вскрытия трупов в Италии вернулись в конце средних веков. Хотя она продолжала пользоваться дурной славой, к ней вынуждены были прибегать, в частности в Болонье, где находилась довольно известная юридическая школа и для разрешения судебных дел нередко требовалась посмертная экспертиза тела. Под этим предлогом ученые старались использовать вскрытия и в целях обучения медицине. (Университеты в Болонье и Салерно были в те времена широко известны своими медицинскими факультетами.)

Восстановление права производить вскрытия далеко не сразу привело к новому толчку в развитии биологии. Прежде всего потребовалось наглядно проиллюстрировать труды Галена и Авиценны. Как правило, сам преподаватель, знакомый с материалом только по книгам, считал вскрытие трупа унижительным для себя занятием и предоставлял эту возможность ассистентам. Он читал лекции, не забываясь, соответствует ли их содержание тому, что студенты видят собственными глазами. В итоге лекции изобиловали грубейшими ошибками. Например, особенности строения животных, которые в свое время наблю-

дал Гален и распространял (ошибочно) на человека, по словам преподавателей, «наблюдались» многократно, хотя на самом деле у человека их нет и в помине.

Исключение из этой печальной, но весьма характерной для того времени картины составлял итальянский анатом Мондино де Люцци (1275—1326), который собственноручно производил вскрытия (на медицинском факультете университета в Болонье). В 1316 г. де Люцци выпустил книгу, впервые в истории медицины полностью посвященную анатомии. Эта книга принесла ему славу ученого, возродившего анатомию. Следует, однако, отметить, что он не смог полностью избежать ошибок прошлого: некоторые приводимые им описания в большей степени основаны на свидетельствах авторов старых книг, нежели на том, что он видел в действительности. После смерти Мондино де Люцци практика вскрытия трупов ассистентами была восстановлена.

Тем временем возникли новые стимулы для изучения биологии, и появились они, казалось бы, за пределами формальной сферы науки. Период возрождения науки, вызванный, с одной стороны, новым прочтением трудов античных ученых, а с другой — естественным пробуждением и тягой к знаниям внутри самой европейской культуры, получил название Ренессанса, или Возрождения.

Эпоха Возрождения характерна широким интересом людей к реалистическим элементам античной культуры. Так, художники, заинтересовавшись объемным изображением, начали изучать законы перспективы, а когда им удалось постичь их, стали стремиться к наиболее правдивому отображению природы. Чтобы точнее изобразить человеческое тело, художник должен был хорошо знать не только структуру самой кожи, но и очертания мышц под ней, расположение суставов и сухожилий и даже костей, то есть основы анатомии. Нет ничего удивительного, что художникам приходилось самостоятельно изучать анатомию. Одним из величайших художников-анатомов был итальянец Леонардо да Винчи (1452—1519). Его неоспоримое преимущество перед учеными-анатомами заключалось в том, что он имел возможность подкреплять свои наблюдения

великолепными рисунками. Леонардо не только изучал, но и изображал на бумаге место и способ соединения костей и суставов. Ему первому удалось установить безошибочное сходство в строении костей ноги человека и лошади, несмотря на их внешнее различие. Таким образом он открыл явление *гомологии*, которое в дальнейшем объединило многих внешне различных животных и тем самым помогло заложить прочную основу теории эволюции.

Леонардо да Винчи изучал и дал графическое изображение работы глаза и сердца; ему принадлежат также описания растительного мира. Интересуясь возможностями изобретения летательного аппарата, ученый внимательно изучал и делал зарисовки птиц в полете. Однако все свои наблюдения он тщательно зашифровывал, и его современники даже не подозревали об этой огромной работе, которая стала известна лишь в наше время.

Наряду с медленным возрождением анатомии шло возрождение и естественной истории. XV в. принято считать эпохой великих географических открытий; европейские корабли, обогнув берега Африки, достигли Индии и близлежащих островов, открыли Америку. Как и во времена завоеваний Александра Македонского и римлян, ученые получили возможность познакомиться с невиданными растениями и животными.

Итальянский ботаник Просперо Альпини (1533—1617), врач венецианского консульства в Каире, открыл существование мужских и женских особей финиковой пальмы. Правда, впервые это открытие было сделано Теофрастом, почти два тысячелетия назад, но оно было полностью забыто и ученые полагали, что растения не имеют пола. Кроме того, Альпини первым из европейцев описал кофейное дерево.

Своего расцвета естественная история эпохи Возрождения достигла в трудах швейцарского естествоиспытателя Конрада Геснера (1516—1565). Широтой интересов и любознательностью Геснер очень напоминал Плиния. Он, подобно римлянину, тоже был глубоко убежден, что, чем больше выдержек из книг древних ученых накоплено человеком, тем большими знаниями он обладает. За все это Геснера даже прозвали «немецким Плинием».

Переходный период

Уже в первые десятилетия XVI в. европейцы, вырвавшись из тенет мрачного Средневековья, достигли уровня античной науки. Однако для дальнейшего прогресса этого было недостаточно; понадобилось время, чтобы европейские ученые поняли, что труды древних греков — лишь начало, от них нужно отойти, дать простор разуму человека. Но не так легко было освободиться из-под влияния античной науки — ярким примером тому служит деятельность Мондино де Люцци.

Благородную задачу критически переосмыслить наследие прошлого, с тем чтобы двигаться вперед, поставил перед собой немецкий врач и естествоиспытатель Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм, известный под именем Парацельса (1493—1541). Он учился медицине у своего отца. Благодаря восприимчивому уму и любви к странствиям ему удалось собрать множество лекарств, неизвестных современникам домоседам, и тем самым снискать себе славу исключительно образованного врача.

Гогенгейм увлекался алхимией, которую европейцы позаимствовали у арабов (а те в свою очередь получили ее «в наследство» от александрийцев). Надо сказать, что главным объектом алхимии было нечто совершенно неуловимое, практически заранее обреченное на неудачу. Во-первых, алхимики пытались найти способы превращения неблагородных металлов (например, свинца) в золото. Во-вторых, они искали так называемый философский камень, который, по их мнению, являлся либо промежуточной стадией превращения металлов в золото, либо универсальным лечебным средством, эликсиром жизни — ключом к бессмертию.

Гогенгейм не видел смысла в попытках «делать» золото. Он считал, что истинная задача алхимии — помогать врачам в лечении болезней. Поэтому он сосредоточил все свое внимание на якобы открытом им философском камне. (Он даже заявил, что благодаря философскому камню будет жить вечно, но, увы, не дожил и до пятидесяти лет!) Увлечение алхимией способствовало тому, что он стал смотреть на минералы как на источники исцеления (вспомним, что

минералы были основным сырьем в кухне алхимика) и пренебрегал лекарствами растительного происхождения, к которым столь благоволили древние. Он яростно обрушился на труды античных ученых. Как раз в то время европейцы получили возможность ознакомиться с работами Цельса, ставшими настольными книгами для европейских медиков. Гогенгейм в пику им назвал себя Парацельсом (что значит «лучше Цельса»); под этим именем он и вошел в историю науки.

Будучи городским врачом в Базеле и стремясь открыто высказать свои взгляды, Парацельс публично сжег на городской площади труды Галена и Авиценны. Дело кончилось тем, что консервативно настроенные врачи изгнали его из Базеля (1528), но и эта крайняя мера не повлияла на его воззрения. Разумеется, Парацельсу не удалось ниспровергнуть ни греческой науки, ни даже греческой биологии, но его нападки на культуру древних привлекли внимание других ученых. Собственные теории немецкого врача были немногим лучше теорий греков, с которыми он столь яростно сражался, но в то время борьба с предрассудками была необходима. Неприкрытая непочтительность Парацельса к древним не привела к желаемым результатам, и греческая наука продолжала сковывать европейский дух. Но ее влияние было заметно ослаблено, а устои правоверного мышления поколеблены.

Новая анатомия

Год 1543-й... Этот год обычно связывают с началом так называемой научной революции. Именно в 1543 г. польский астроном Николай Коперник (1473—1543) опубликовал книгу «Об обращениях небесных сфер», в которой впервые излагалось новое представление о солнечной системе (так называемая гелиоцентрическая система мира). Коперник утверждал, что Солнце является центром, а Земля — планетой, которая движется по орбите вокруг Солнца, как и любая другая планета. Эта гипотеза послужила началом конца античных представлений о Вселенной, о неподвижной Земле в центре солнечной системы. Однако понадобилось почти сто лет ожесточенной борьбы, чтобы новая точка зрения восторжествовала.

В 1543 г. появилась еще одна книга, столь же революционная по своему значению для биологии, как и книга Коперника для физики. Она называлась «О строении человеческого тела»; ее автором был крупнейший анатом эпохи Возрождения Андреас Везалий (1514—1564).

Везалий получил образование в Нидерландах, в строгих традициях школы Галена, к которому всегда питал чувство глубокого уважения. Закончив обучение, он отправился в Италию, где научная атмосфера была более свободна от предрассудков. Там Везалий возродил традиции Мондино де Люцци и собственно-ручно анатомировал трупы. В тех случаях, когда при вскрытии он обнаруживал расхождения с описаниями древнегреческих ученых, Везалий осмеливался выступать с критикой древних.

Книга, которая явилась плодом его наблюдений, была первой наиболее точной работой по анатомии человека. По сравнению с более ранними трудами у

нее было два существенных преимущества: во-первых, ее выход совпал с расцветом книгопечатания и она очень быстро разошлась по всей Европе; во-вторых, она была снабжена великолепными иллюстрациями — многие из них делал ученик Тициана. Человеческое тело изображалось в естественных положениях; особенно удачными были рисунки мышц.

Жизнь Везалия после опубликования книги сложилась крайне несчастливо. Его взгляды были признаны еретическими, анатомирование, за которое он так ратовал, продолжало оставаться незаконным актом. Везалий вынужден был предпринять паломничество в Палестину и на обратном пути стал жертвой кораблекрушения.

Следует признать, что революционное воздействие гипотез Везалия в биологии было более эффективным, нежели переворот, совершенный Коперником в астрономии. Утверждения Везалия не казались столь маловероятными, по крайней мере на первый взгляд, как движение огромной Земли в пространстве. Ученый в спокойной, обстоятельной манере описывал формы и расположение органов человеческого тела; каждый при желании мог удостовериться в его правоте.

Греческую анатомию предали забвению. Новая итальянская анатомия вступила в период расцвета. Габриель Фаллопий (1523—1562), один из учеников Везалия, изучал органы размножения. Ему принадлежит описание труб, идущих от яичников к матке, которые до сих пор известны в медицине под названием фаллопиевых труб.

Другой итальянский анатом, Бартоломео Эустахио (1510—1574), будучи на словах противником Везалия и сторонником Галена, на практике изучал человеческое тело и предпочитал описывать только то, что видел собственными глазами. Он заново, впервые после Алкмеона, открыл трубу, соединяющую ухо с горлом, которая известна ныне под названием евстахиевой трубы.

Новые веяния в анатомии распространились и на другие области биологии. Как мы помним, Гиппократ был сторонником гуманного метода лечения; увы, в более поздние времена врачи пользовались, в сущности, варварскими методами. Лечение велось из рук

вон плохо: так, например, хирургические операции делал не врач, а цирюльник, который, следовательно, не только занимался своим непосредственным делом — стриг и брил, — но и резал человеческое тело. Цирюльники-хирурги были малосведущи в теории; возможно, именно поэтому они охотно прибегали к решительным мерам: дезинфицировали огнестрельные раны кипящим маслом, останавливали сосудистое кровотечение, прижигая края раны раскаленным докрасна железом, и т. д.

Французский хирург Амбруаз Паре (1517—1590) немало потрудился, пытаясь изменить подобные варварские методы лечения. Он начал свою карьеру учеником цирюльника, позже служил в армии в качестве цирюльника-хирурга. Именно там он ввел в лечение поразительные новшества: накладывал мази на огнестрельные раны (при комнатной температуре) и, перевязывая артерии, останавливал кровотечение. Причиняя больному несравненно меньшие боли, чем другие хирурги, он чаще своих собратьев добивался успеха. Не удивительно, что именно его иногда называют отцом современной хирургии.

Кроме того, Паре принадлежит идея создания хитроумных протезов конечностей; он усовершенствовал родовспомогательные приемы и перевел на французский язык краткое изложение трудов Везалия, с тем чтобы цирюльники, не знающие латыни, могли почерпнуть кое-какие сведения о строении человеческого тела, прежде чем кромсать его наугад.

Вскоре врачи вслед за учеными-анатомами, не гнушавшимися собственноручно анатомировать трупы, позабыв об академической важности, снизошли до самостоятельных хирургических операций.

Кровообращение

Выяснение строения и расположения органов тела является основной задачей анатомии. Гораздо труднее изучать их нормальное функционирование — эти вопросы составляют предмет *физиологии*. Греки были плохими физиологами; их представления о функционировании сердца в большинстве своем ошибочны.

Что сердце — это насос, который перекачивает кровь, не вызывало сомнения. Но откуда поступает кровь и куда она исчезает? Основной ошибкой древнегреческих медиков было то, что они считали вены единственными кровеносными сосуда́ми. Артерии, обычно пустые у трупов, рассматривались ими как воздушные сосуды. (Слово «артерия» в переводе с греческого — «воздушный тракт».)

Правда, Герофил показал, что кровь переносят как вены, так и артерии. По его мнению, оба вида кровеносных сосудов соединяются с сердцем, и вопрос решился бы очень просто, если бы на периферии, в местах, удаленных от сердца, удалось обнаружить связь между венами и артериями. Тщательные анатомические исследования позволили установить, что вены и артерии разветвляются на более мелкие сосуды, которые в конце концов становятся настолько тонкими, что их невозможно разглядеть. Никакой связи между ними обнаружить не удалось.

На этом основании Гален предположил, что кровь движется от одного типа сосудов к другому, переходя из правой половины сердца в левую. Чтобы кровь могла проходить через сердце, утверждал он, в толстой мускульной перегородке, которая делит сердце на правую и левую части, должны быть мельчайшие дырочки. Правда, их никому не удалось разглядеть, но на протяжении семнадцати веков врачи и анатомы вслед за Галеном допускали их существование.

Итальянские анатомы XVI—XVII веков, еще не осмеливаясь выступать открыто, стали подозревать, что дело обстоит не совсем так. Джероламо Фабриций д'Аквапенденте (1537—1619) обнаружил венозные клапаны и показал, как они действуют: беспрепятственно пропускают кровь по направлению к сердцу и задерживают ее при обратном движении.

Казалось, проще всего сделать вывод, что кровь движется по венам только в одном направлении — к сердцу. Однако такой вывод противоречил бы мнению Галена о двустороннем ее движении, поэтому Фабриций лишь осмелился предположить, что клапаны замедляют, а отнюдь не приостанавливают обратный ток крови.

У Фабриция был ученик, английский студент Уильям Гарвей (1578—1657), человек с весьма решительным характером. Вернувшись в Англию, Гарвей занялся изучением сердца и обратил внимание (как и некоторые анатомы до него) на существование в сердце односторонне действующих клапанов. Следовательно, заключил он, кровь притекает в сердце извне и клапаны не дают ей вернуться обратно в вены. Соответственно кровь вытекает из сердца по артериям, но не может вернуться в сердце через односторонне действующие клапаны. Когда Гарвей перевязывал артерию, кровью переполнялась ближняя к сердцу часть; когда он перевязывал вену, раздувалась удаленная от сердца часть. Все это показывало, что кровь не приливает и не отливает, а постоянно движется в одном направлении. Она течет по венам в сердце и затем поступает в артерии, а не наоборот.

Гарвей вычислил, что за один только час сердце перекачивает количество крови, втрое превышающее вес человека. Казалось невероятным, чтобы кровь могла с такой скоростью образовываться и распадаться. Ясно, что где-то за пределами сердца кровь из артерий должна возвращаться в вены через невидимые глазу соединительные сосуды. Предположив существование таких соединительных сосудов, не составляло труда понять, что сердце многократно перекачивает одно и то же количество крови: вены — сердце — артерии — вены — сердце — артерии — вены — сердце — артерии и т. д.

В 1628 г. вышла книга Гарвея «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных», в которой он опубликовал результаты своих наблюдений. Несмотря на небольшие размеры (всего 72 страницы) и скромный внешний вид, книга была под стать своей бурной эпохе — она вызвала полный переворот в истории биологии.

Именно в это время великий итальянский ученый Галилео Галилей (1564—1642) ратовал за внедрение экспериментального метода в науку, тем самым полностью опровергая точку зрения Аристотеля. Исследование Гарвея было первым серьезным проявлением нового подхода к биологии. Гарвей опроверг учение Галена и заложил основы современной физиологии.

(Отметим, что гарвеевское вычисление количества крови, проходящей через сердце, было первой серьезной попыткой применения математики в биологии.)

Само собой разумеется, что врачи — приверженцы старой школы яростно ополчились на Гарвея, но против фактов оказались бессильны. К тому времени, когда Гарвей состарился, его идея кровообращения получила всеобщее признание среди биологов, несмотря на то что сосуды, соединяющие артерии и вены, еще не были открыты. Так европейские ученые окончательно и бесповоротно перешагнули границы античной биологии.

Теория Гарвея положила начало борьбе между двумя антагонистическими концепциями по вопросу природы живого, борьбе, которая идет на протяжении всей истории современной биологии и продолжается до сих пор.

Как утверждают сторонники одной теории, живое существенно отличается от неживого, поэтому, изучая только неживые объекты, нельзя познать жизнь. Значит, имеется два вида законов природы: один для живой материи, другой — для неживой. Эта теория получила название виталистической.

С другой стороны, можно рассматривать жизнь как высокоспециализированную форму материи, которая, однако, существенно не отличается от менее сложно организованных систем неживой природы. Тщательное изучение неживой природы позволит лучше понять живой организм, который, по мнению приверженцев этой точки зрения, является лишь невероятно усложненной машиной. Подобного рода теория характеризует механистический материализм.

Открытие Гарвея, несомненно, послужило доводом в пользу механистического материализма. В самом деле, можно считать, что сердце — это насос, а движение крови подчиняется физическим законам движения жидкости. Если это так, то где же предел? Можно ли полагать, что все остальное в живом организме представляет собой всего-навсего набор сложных и взаимосвязанных механических систем?

Представление об организме как о механическом устройстве разделял крупнейший французский философ того времени Рене Декарт (1596—1650). Но та-

кая точка зрения резко противоречила общепризнанным теориям, и Декарт предусмотрительно подчеркивал, что под «механизмом» он подразумевает тело человека, а не его разум и душу. Разум и душу он рассматривал с точки зрения витализма. Декарт предположил, что взаимосвязь между телом человека и его разумной душой осуществляется через придаток мозга — шишковидную железу, так как ошибочно считал, что шишковидная железа имеется только у человека. Вскоре, однако, выяснилось, что у некоторых примитивных рептилий эта железа развита еще лучше, чем у человека.

Теории Декарта оказали огромное влияние на дальнейшее развитие биологии. У него нашлось немало последователей среди физиологов, которые пытались развивать механико-материалистические взгляды. Так, итальянский физиолог Джованни Альфонсо Борелли (1608—1679) в книге, опубликованной в год его смерти, рассматривал мышцы и кости как систему рычагов. В данном случае такая точка зрения не расходится с истиной, ибо законы действия деревянных рычагов вполне применимы к рычагам из костей и мускулов. Борелли пытался применить принципы механики и к другим органам, например к легким и желудку, однако не столь успешно.

Начала биохимии

Разумеется, тело можно считать механизмом, и не прибегая к аналогиям с рычагами и приводами, а происходящие в организме процессы можно объяснить не только физическим, но и химическим взаимодействием.

Первые химические эксперименты на живых организмах провел голландский естествоиспытатель Иоганн Баптист Ван-Гельмонт (1577—1644), современник Гарвея. Ван-Гельмонт выращивал иву в сосуде с определенным количеством почвы. Через пять лет, на протяжении которых он регулярно поливал иву только водой, вес дерева увеличился на 73 килограмма, а земля потеряла только 57 граммов. Исходя из этого, Ван-Гельмонт пришел к выводу, что дерево черпает нужные ему вещества не из почвы (совершенно верно), а из

воды (неверно, по крайней мере частично). Его ошибка заключалась в том, что он не принял в расчет воздуха, — злая ирония судьбы, ибо именно Ван-Гельмонт первым стал изучать газообразные вещества. Это ему принадлежит слово «газ», он открыл так называемый «лесной дух», который впоследствии оказался не чем иным, как углекислым газом — основным источником жизни растений.

Работы Ван-Гельмонта в области химии живых организмов (или, как мы ее теперь называем, *биохимии*) получили дальнейшее развитие в трудах других исследователей. Одним из первых энтузиастов биохимии был Франциск де ла Боэ (1614—1672), известный под латинизированным именем Сильвия. Представление об организме как о химическом аппарате он довел до крайности; так, по его словам, пищеварение — чисто химический процесс, действие которого сходно с химическими изменениями, происходящими во время брожения (в этом он оказался прав). Далее он предположил, что правильное функционирование организма зависит от баланса химических компонентов тела; болезнь — это результат либо избыточного, либо недостаточного содержания в организме кислоты. Это утверждение Сильвия в какой-то мере справедливо. Однако наука в его время была еще на таком низком уровне, что дальше этих предположений он пойти не смог.

Появление микроскопа

Наиболее уязвимым местом в теории кровообращения Гарвея было то обстоятельство, что ему так и не удалось обнаружить связи между артериями и венами. Он лишь предположил, что подобное соединение существует, но вследствие малых размеров соединяющих сосудов не видно глазу. К концу жизни Гарвея вопрос все еще оставался нерешенным, и так могло бы продолжаться вечно, если бы человечество полагалось только на невооруженный глаз.

Еще в древности люди знали, что кривые зеркала и стеклянные шары, наполненные водой, обладают свойствами увеличивать предметы. В попытках добиться наибольшего увеличения исследователи уже

в начале XVII в. обратились к линзам. Их вдохновляли удачные исследования, проводимые при помощи телескопа, оптического инструмента, впервые примененного Галилеем для астрономических наблюдений еще в 1609 г.

Постепенно увеличительные приборы, или микроскопы (в переводе с греческого «видеть малое»), вошли в употребление, и биология необычайно расширила область своих наблюдений. Микроскоп позволил натуралистам детально описывать мелкие живые существа, а анатомам — обнаруживать невидимые глазу структуры. Выдающимся анатомом-микроскопистом был голландский натуралист Ян Сваммердам (1637—1680). Особую известность получили его анатомические исследования насекомых, выполненные с превосходными детальными зарисовками. Сваммердаму принадлежит открытие взвешенных в крови мельчайших клеток, которые придают ей красный цвет. (Теперь они известны под названием эритроцитов, или красных кровяных телец.) Английский ботаник Неемия Грю (1641—1712) изучал под микроскопом строение растений; особенно его интересовали органы размножения. Ему удалось описать строение отдельных зерен пыльцы. Голландский анатом Ренье Грааф (1641—1673) проводил аналогичные исследования на животных. Он изучал тонкое строение семенников и яичников и, в частности, дал описание пузырьковидных образований в яичнике, которые до сих пор называются граафовыми пузырьками (фолликулами).

Но самым выдающимся было открытие итальянского физиолога Марчелло Мальпиги (1628—1694). Исследуя легкие лягушки, он обнаружил сложную сеть мельчайших кровеносных сосудов. Проследив слияние мелких сосудов в более крупные, Мальпиги установил, что последние оказывались в одном случае венами, а в другом — артериями.

Оправдалось предположение Гарвея: артерии и вены действительно соединены сетью сосудов, настолько мелких, что их невозможно увидеть невооруженным глазом. Эти микроскопические сосуды получили название капилляров (от латинского *capillaris* — волосной, хотя в действительности они гораздо тоньше волоса). Это открытие, окончательно утвердившее

теорию кровообращения Гарвея, было сделано в 1661 г., через четыре года после смерти великого английского ученого.

Однако прославил микроскопию не Мальпиги, а голландский купец Антони Левенгук (1632—1723), для которого микроскоп был всего лишь любимым развлечением.

Ранние микроскописты, в том числе и Мальпиги, пользовались системой линз, которые, как они справедливо полагали, должны были давать большее увеличение, нежели одна линза. Однако их линзы были еще несовершенными, с неровными поверхностями и внутренними трещинами. При попытке получить большее увеличение детали становились расплывчатыми.

Левенгук пользовался простыми линзами очень малых размеров. Изготавливались они из безупречного стекла. Он скрупулезно шлифовал стекла, до тех пор пока не добился четкого увеличения до 200 раз. В некоторых случаях размер линз не превышал булавочной головки, тем не менее они великолепно служили целям любознательного голландца.

С помощью линз Левенгук наблюдал все, что попадало ему под руку. Он без труда следил за движением крови в капиллярах головастика и смог описать красные кровяные тельца и капилляры гораздо подробнее и точнее, чем их первооткрыватели Сваммердам и Мальпиги. Один из его помощников первым увидел сперматозоиды — маленькие, похожие на головастиков тельца в сперме.

Но самое удивительное открытие Левенгук сделал, рассматривая каплю воды из канавы. Он обнаружил в ней мельчайшие создания, обладавшие тем не менее всеми признаками жизни. Эти анималькули (так их называл Левенгук) теперь известны как простейшие. Таким образом, усовершенствованный микроскоп позволил обнаружить в природе не только мельчайшие объекты, но и микроскопические живые существа. Взгляду пораженных исследователей открылся богатейший неведомый мир. Так было положено начало *микробиологии* (изучению живых организмов, невидимых невооруженным глазом).

В 1683 г. Левенгук обнаружил создания еще мельче простейших. Хотя его описание весьма расплывчато

и поэтому не может служить доказательством, вполне вероятно, что Левенгук впервые в истории человечества увидел то, что позднее получило название бактерий.

Единственным открытием той эпохи, которое могло сравниться с исследованиями Левенгука, по крайней мере по его значимости для будущих исследований, было открытие английского ученого Роберта Гука (1635—1703). Усовершенствования, внесенные им в микроскоп, позволили выполнить ряд тонких научных экспериментов. В 1665 г. он опубликовал книгу «Микрография», в которой можно найти великолепные зарисовки микроскопических объектов. Наибольший интерес представляло изучение строения пробки, показавшее, что она состоит из массы маленьких прямоугольных камер, названных Гуком клетками. Это открытие имело важные последствия.

В течение XVIII в. микроскопия переживала период упадка: эффективность прибора достигла предела. Лишь в 1773 г., почти через 100 лет после первых наблюдений Левенгука, датскому зоологу Отто Фредерику Мюллеру (1730—1784) удалось настолько хорошо рассмотреть бактерии, что он смог описать очертания и формы нескольких из них.

Один из недостатков ранних микроскопов заключался в том, что в линзах происходило разложение белого света на составляющие цвета. Небольшие предметы были окружены цветными кольцами (так называемая хроматическая аберрация), и поэтому мелкие детали трудно было разобрать. Примерно в 1820 г. был изобретен ахроматический микроскоп, не дававший цветных колец. Этим объясняется тот факт, что именно в XIX столетии микроскоп помог проложить путь к новым удивительным достижениям в биологии.

Самопроизвольное зарождение

Открытия, сделанные с помощью микроскопа в середине XVII столетия, на первый взгляд стирали различия между живой и неживой материей. И на повестку дня снова встал, казалось бы, уже почти решенный вопрос о происхождении жизни или по крайней мере наиболее простых ее форм.

Еще не так давно признавалось возникновение из гнилого мяса или других отбросов существ, подобных червям или насекомым. Такое «появление» живого из неживого называли самопроизвольным зарождением. Классическим примером его считалось появление личинок мух в гниющем мясе. Этот факт признавали тогда почти все биологи. И только Гарвей в своем трактате о кровообращении высказал предположение, что такие мелкие живые существа рождаются из цист или яиц, неразличимых невооруженным глазом (естественно, что биолог, постулировавший существование невидимых глазу сосудов, мог прийти и к этому выводу).

Итальянский врач Франческо Реди (1626—1698), проникшись идеей Гарвея, в 1668 г. провел следующий эксперимент. Он поместил в восемь сосудов по куску сырого мяса, четыре сосуда запечатал, а четыре оставил открытыми. Мухи могли садиться только на мясо в открытых сосудах, и именно там появились личинки. Реди повторил эксперимент, не запечатывая некоторых сосудов, а только накрыв их марлей. И при свободном доступе воздуха на защищенном от мух мясе личинки не развивались.

Теперь, казалось бы, биологическая мысль могла окончательно освободиться от представления о самопроизвольном зарождении. Однако значение эксперимента Реди было несколько ослаблено открытием Левенгука, который в те же годы установил существо-

вание простейших организмов. Пришлось признать, что мухи и личинки все-таки довольно сложные организмы, хотя и кажутся простыми по сравнению с человеком. Возникла мысль, что простейшие, по величине не превышающие мушиные яйца, образуются путем самопроизвольного зарождения. А доказательством служил тот факт, что при выдерживании питательных экстрактов, не содержавших простейших, в них все-таки появлялись многочисленные крошечные существа. Вопрос о самопроизвольном зарождении становился частью более общего спора, принявшего в XVIII и XIX столетиях особенно острый характер, — спора между виталистами и материалистами.

Философию витализма четко сформулировал немецкий врач Георг Эрнст Шталь (1660—1734). Он приобрел известность главным образом как автор теории флогистона — субстанции, которая, полагал он, содержится в веществах, способных гореть или ржаветь, подобно дереву или железу. При сгорании дерева или коррозии железа, говорил Шталь, флогистон переходит в воздух. Пытаясь объяснить, почему при коррозии металлов их вес увеличивается, некоторые химики наделяли флогистон неким «отрицательным весом». Теория флогистона считалась общепринятой на протяжении всего XVIII столетия.

Надо сказать, что в объемистых трудах Шталя, особенно в его книге по медицине, опубликованной в 1707 г., содержались и важные мысли по физиологии. Шталь решительно заявил, что живые организмы подчиняются законам совершенно иного типа, чем физические, а изучение химии и физики неживой природы не способствует успехам биологии. Противником этой точки зрения был голландский врач Герман Бургав (1668—1738), самый известный медик того времени (его называли голландским Гиппократом). В труде по медицине, подробно разбирая строение человека, Бургав пытался показать, что человеческое тело во всех своих проявлениях подчиняется именно физическим и химическим законам.

Для материалистов, считавших, что живой и неживой природой управляют одни и те же законы, микроорганизмы представляли особый интерес, являясь как бы своеобразным мостом между живым и

неживым. Если бы удалось доказать, что микроорганизмы образуются из неживой материи, мост был бы достроен. Следует заметить, что последовательные виталисты начисто отрицали возможность самопроизвольного зарождения. По их мнению, даже между самыми простыми формами жизни и неодушевленной природой существует непреодолимый разрыв. Однако на протяжении всего XVIII столетия позиции виталистов и материалистов в отношении самопроизвольного зарождения еще не были четко разделены, так как определенную роль играли здесь и религиозные соображения. Порою виталистам, обычно более консервативным в вопросах религии, приходилось поддерживать идею о развитии живого из неживого, поскольку о самопроизвольном зарождении упоминала Библия. К такому заключению пришел в 1748 г. английский натуралист и к тому же католический священник Джон Тербервил Нидхем (1713—1781). Прделанный им эксперимент был очень прост: Нидхем вскипятил бараний бульон, налил его в пробирку и закрыл пробкой, а через несколько дней обнаружил, что бульон кишит микробами. Так как, по мнению Нидхема, предварительное нагревание стерилизовало жидкость, то микробы образовывались из неживой материи, и самопроизвольное зарождение, по крайней мере для микробов, можно было считать доказанным.

Скептически отнесся к этому эксперименту итальянский биолог Ладзаро Спалланцани (1729—1799), который предположил, что в опыте Нидхема продолжительность нагревания была недостаточной для стерилизации. Спалланцани закупорил колбу с питательным бульоном, кипевшим в течение 30—45 минут, — микроорганизмы не появились.

Казалось бы, это решало спор, но приверженцы самопроизвольного зарождения все же нашли лазейку. Они объявили, что источник жизни, нечто неведомое и невоспринимаемое, содержится в воздухе и передает жизнеспособность неодушевленным телам. Кипячение, проведенное Спалланцани, говорили они, разрушило этот жизненный источник. И в течение почти всего следующего столетия этот вопрос вызывал сомнения и споры.

Расположение видов в системе

Спор по поводу самопроизвольного зарождения был в известном смысле спором о классификации явлений: навеки отделить живое от неживого или допустить ряд переходов. В XVII и XVIII веках предпринимались попытки классифицировать различные формы жизни, однако это привело к еще более серьезным противоречиям, достигшим кульминационной точки в XIX столетии.

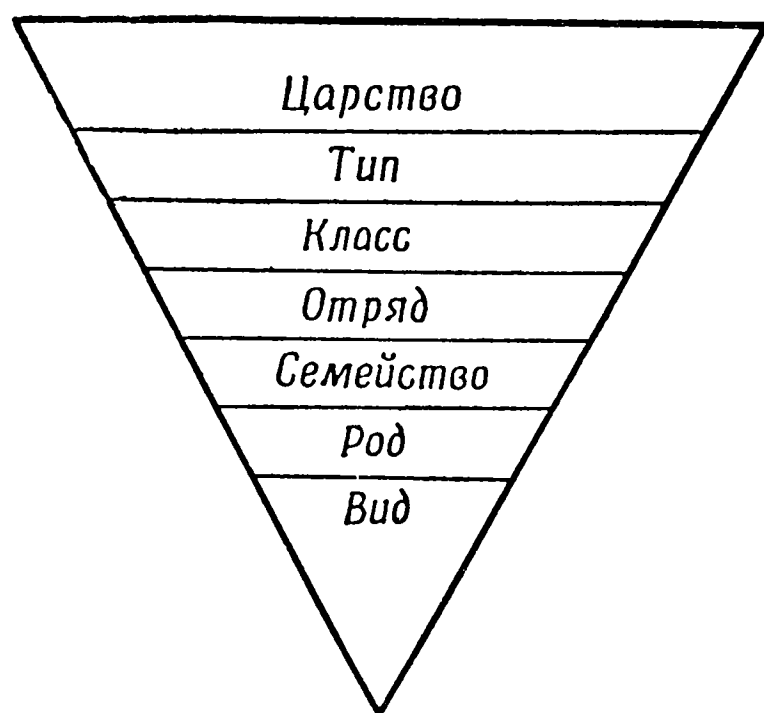
Прежде всего единицей классификации как для растений, так и для животных является вид. Этот термин очень трудно точно определить. Грубо говоря, вид — это любая группа живых организмов, которые, свободно скрещиваясь друг с другом в природе, приносят подобное себе потомство, а оно в свою очередь производит последующее поколение и так далее. К примеру, люди при всех своих внешних различиях считаются представителями одного вида. В то же время индийский и африканский слоны при большом внешнем сходстве принадлежат к различным видам, так как при скрещивании не дают потомства.

В списке Аристотеля насчитывалось около пятисот видов животных, а Теофраст описал столько же видов растений. Однако за прошедшие с тех пор два тысячелетия количество известных видов животных и растений весьма возросло, особенно после открытия новых континентов, когда на исследователей обрушился целый поток сообщений о растениях и животных, неизвестных натуралистам классической древности. К 1700 г. были описаны десятки тысяч видов растений и животных.

В любом, даже ограниченном перечне очень заманчиво сгруппировать сходные виды. Так, например, вполне естественно поставить рядом два вида слонов. Но разработать единую систему для десятков тысяч видов оказалось нелегко. Первая попытка в этом направлении принадлежит английскому натуралисту Джону Рейу (1628—1705).

В трехтомном труде «История растений» (1686—1704) Рей дал описание всех известных в то время видов растений (18 600). В другой книге, «Систематический обзор животных...» (1693), Рей предложил

свою классификацию животных, применив принцип объединения видов по совокупности внешних признаков, главным образом по наличию когтей и зубов. Так, он разделил млекопитающих на две большие группы: животных с пальцами и животных с копытами. Копытные в свою очередь были разделены на однокопытных (лошадь), двукопытных (крупный рогатый скот) и трехкопытных (носорог). Двукопытных он вновь разделил на три группы: к первой относились жвачные животные с несбрасываемыми рогами



Р и с. 1. Диаграмма, показывающая в нисходящем порядке основные группировки живых форм (от царства до вида).

(например, козы), ко второй — жвачные с ежегодно сбрасываемыми рогами (олени) и к третьей — нежвачные животные.

Классификация Рея была еще очень несовершенна, но принцип, положенный в ее основу, получил дальнейшее развитие в трудах шведского натуралиста Карла Линнея (1707—1778). К тому времени число известных видов составляло минимум 70 000. Проехав в 1732 г. по северной части Скандинавского полуострова, не отличающейся особенно благоприятными условиями для процветания флоры и фауны, Линней за короткое время обнаружил около ста новых видов растений.

Еще в студенческие годы Линней изучал органы размножения растений, отмечая их видовые различия.

Позднее на этой основе он построил свою систему классификации. В 1735 г. Линней опубликовал книгу «Система природы», в которой изложил созданную им систему классификации растительного и животного мира, явившуюся предшественницей современной. Именно Линней считается основателем *таксономии* (или *систематики*), изучающей классификацию видов живых форм.

Бликие виды Линней группировал в роды, близкие роды — в отряды, а близкие отряды — в классы. Все известные виды животных были сгруппированы в шесть классов: млекопитающие, птицы, рептилии, рыбы, насекомые и черви. Такое деление на классы было несколько хуже предложенного два тысячелетия назад Аристотелем, но зато несло в себе плодотворный принцип систематического деления. Недостатки системы позднее были легко устранены.

Каждый вид у Линнея имел двойное латинское название: первое слово в нем — название рода, к которому принадлежит вид, второе — видовое название. Форма биномиальной (двуименной) номенклатуры сохранилась до сих пор. Благодаря ей у биологов появился международный язык для обозначения живых форм, что позволило избавиться от многочисленных недоразумений. Даже виду «человек» Линней дал название, сохранившееся до наших дней, — *Homo sapiens*.

На подступах к теории эволюции

Классификация Линнея, в которой очень большие группы постепенно делились на все более мелкие, создает подобие разветвленного дерева, получившего позже название «древа жизни». При внимательном изучении этой схемы неизбежна мысль: случайна ли такая организация? Разве не могут в действительности два близких вида произойти от общего предка, а два близких предка — от еще более древнего и примитивного? Короче говоря, не могла ли картина, представленная Линнеем, возникнуть и развиваться на протяжении многих веков, подобно тому как растет дерево? Это предположение послужило причиной величайшего в истории биологии спора.

Для самого Линнея подобная мысль была невозможна. Ученый упорно стоял на том, что каждый вид сотворен отдельно и сохраняется божественным провидением, не допускающим вымирания видов. Система его классификации основана на внешних признаках и не отражает возможных родственных связей. (Похоже на попытку объединить ослов, кроликов и летучих мышей только на том основании, что у них длинные уши.) Конечно, если не признавать родственных отношений между видами, то безразлично, как их группировать: все классификации одинаково искусственны, и исследователь выбирает наиболее удобную. Тем не менее Линней не мог помешать другим ученым развивать идеи «эволюции» (это слово стало популярным лишь в середине XIX столетия), процесса, при котором последовательно и непрерывно одни виды дают начало другим. Это родство между видами и должно было найти свое отражение в принятой классификационной системе. (Все же в последние годы жизни Линней допускал возможность образования новых видов путем гибридизации.)

Вызов широко распространенным взглядам на развитие животных организмов осмелился бросить французский естествоиспытатель Жорж Луи Леклерк Бюффон (1707—1788), высказав идею изменяемости видов под влиянием окружающей среды.

Бюффон написал сорокачетырехтомную энциклопедию «Естественная история», столь же многоплановую для того времени и популярную, как когда-то труд Плиния, но гораздо более точную. В ней он указывал, что некоторые существа обладают бесполезными частями тела (рудиментарными органами), вроде, например, двух редуцированных пальцев у свиньи, которые расположены возле функционирующих копыт. Не имели ли некогда эти пальцы нормальных размеров? Возможно, когда-то они служили животному, но со временем сделались ненужными. Не исключено, что и с целым организмом может произойти нечто подобное? Может быть, человекообразная обезьяна — это выродившийся человек, а осел — выродившаяся лошадь?

Английский врач Эразм Дарвин (1731—1802), дед великого Чарлза Дарвина, в своих велеречивых поэ-

мах о ботанике и зоологии одобрял систему Линнея и в то же время признавал возможность изменения видов под влиянием окружающей среды.

Через год после смерти Бюффона Европу всколыхнула Великая французская буржуазная революция. Началась эпоха ломки и перестройки, эпоха переоценки ценностей. Нации одна за другой отказывались признавать авторитет тронов и церкви; теперь находили признание научные теории, которые прежде считались бы опасной ересью. В этой обстановке идеи Бюффона о «спокойном», эволюционном развитии живого мира не встретили поддержки.

Однако спустя несколько десятилетий другой французский естествоиспытатель, Жан Батист Пьер Антуан Ламарк (1744—1829), берется за детальное изучение исторического развития живой природы.

Ламарк объединяет первые четыре класса Линнея (млекопитающих, птиц, рептилий и рыб) в группу позвоночных животных, обладающих внутренним позвоночным столбом, или позвоночником. Два других класса (насекомых и червей) Ламарк назвал беспозвоночными. Признавая, что классы насекомых и червей слишком разнородны (он понимал, например, что нельзя объединять восьминогих пауков с шестиногими насекомыми, а омаров с морскими звездами), он долго трудится над их систематикой и приводит ее в относительный порядок, доведя до уровня аристотелевой классификации.

В 1815—1822 гг. выходит капитальный семитомный труд Ламарка «Естественная история беспозвоночных животных», который содержит описание всех известных в то время беспозвоночных. В процессе работы над систематикой беспозвоночных Ламарку неоднократно приходилось задумываться над вероятностью эволюционного процесса. Размышления об эволюции живых существ он впервые изложил в 1801 г. и развил в своем главном труде «Философия зоологии» (1809). Ламарк выдвинул предположение, что частое употребление какого-либо органа приводит к увеличению его размеров и повышению работоспособности и, наоборот, «неупотребление» — к дегенерации. Такие изменения, вызванные влиянием внешних факторов, по утверждению Ламарка, могут передаваться потомству

(так называемое наследование приобретенных признаков). В качестве примера Ламарк приводит жирафа. Легко представить, что какая-то антилопа, чтобы достать листья на деревьях, изо всех сил вытягивала шею, а попутно у нее вытягивались язык и ноги. В результате эти части тела стали несколько длиннее, а это, как полагал Ламарк, передалось следующему поколению, которое в свою очередь развивало и совершенствовало унаследованные особенности. Так антилопа мало-помалу должна была превратиться в жирафа.

Теория Ламарка не получила признания, так как она не располагала убедительным доказательством наследования приобретенных признаков. Действительно, все известные к тому времени факты свидетельствовали о том, что приобретенные признаки не наследуются. Даже если бы они наследовались, это относилось бы к признакам, на которые действует «волевое напряжение», вроде вытягивания шеи. А тогда как объяснить появление защитной окраски — пятнистости — на шкуре жирафа? Каким образом она развилась из лишенной пятен окраски антилопы? Можно ли предположить, что предок жирафа стремился стать пятнистым?

Ламарк умер в бедности, всеми отвергнутый. Его теория эволюции вызывала лишь недоумение. И все-таки она первой открыла ворота шлюза.

Геологические предпосылки

Основная трудность на пути создания теории эволюции заключалась в слишком медленном темпе видовых изменений. Человечество не помнило случаев преобразования одного вида в другой. Если такой процесс и происходил, то он должен был протекать чрезвычайно медленно, возможно сотни столетий. Поскольку в средние века и в начале нового времени европейские ученые, основываясь на Библии, считали, что нашей планете около шести тысяч лет, времени для эволюционного процесса попросту не оставалось. Но и в этих представлениях произошли изменения.

Увлекавшийся геологией шотландский врач Джеймс Хэттон (1726—1797) в 1785 г. опубликовал книгу «Теория Земли», где показал, как воздействие воды, ве-

тра и климата медленно изменяет поверхность Земли. Хэттон утверждал, что этот процесс протекает с неизменной скоростью (униформизм), и для таких гигантских изменений, как образование гор или речных каньонов, необходимо колоссально долгое время, поэтому возраст нашей планеты должен исчисляться многими миллионами лет.

Концепции Хэттона вначале был оказан самый враждебный прием. Но пришлось признать, что она объясняет находки ископаемых организмов, которыми особенно интересовались биологи. Трудно представить, чтобы камни по воле случая повторяли формы живых существ. По мнению большинства ученых, это окаменелости, которые были когда-то живыми организмами. Если допустить, что Хэттон прав, то ископаемые остатки находились в земных слоях бесконечно долго; за это время составляющие их вещества заместились минеральными веществами окружающих пород.

Новые мысли в связи с находками ископаемых организмов высказал английский геодезист и инженер Уильям Смит (1769—1839). Инспектируя строительство сооружаемых в то время повсеместно каналов и наблюдая за земляными работами, Смит отметил, что горные породы различных типов и форм залегают параллельными слоями и для каждого слоя характерны определенные формы остатков ископаемых организмов, не встречающиеся в других слоях. Даже если данный слой изогнут и искривлен или вообще пропадает из виду, появляясь вновь лишь через несколько километров, он сохраняет свойственные только ему формы ископаемых. Смит научился даже определять различные слои исключительно по содержащимся в них остаткам ископаемых организмов.

Признав правоту Хэттона, можно предположить, что слои залегают в порядке их медленного формирования: чем глубже слой, тем он древнее. Если окаменелости и в самом деле являются остатками живых существ, то по расположению геологических слоев можно судить о последовательности эпох, в которые жили эти существа.

Окаменелости привлекли особое внимание французского биолога Жоржа Леопольда Кювье (1769—

1832). Кювье изучал строение различных животных, тщательно сравнивая их между собой и отмечая черты сходства или отличия. Его можно считать основателем *сравнительной анатомии*. Эти исследования помогли Кювье понять соотношение различных частей организма, позволили по отдельным небольшим косточкам без труда делать выводы о форме других костей, о типе прикрепляющихся к ним мускулов, даже судить о целом организме. Кювье усовершенствовал систему классификации Линнея, объединив классы этой системы в более крупные подразделения. Одно из них, как и Ламарк, он назвал «позвоночные». Однако Кювье не свалил в кучу всех остальных животных. В группе беспозвоночных он выделил три подгруппы: членистоногие (животные с внешним скелетом и конечностями, как у насекомых и ракообразных), мягкотелые (животные с раковиной без членистых конечностей, такие, как моллюски и улитки) и лучистые (все остальные беспозвоночные животные).

Эти крупные группы Кювье назвал типами. С тех пор стало известно свыше тридцати типов растений и животных. Расширил свои границы и тип позвоночных: после того как в него включили некоторых примитивных животных без позвоночного столба, он получил название типа хордовых.

Занимаясь сравнительной анатомией, Кювье основывал свой принцип классификации не на внешнем сходстве, как Линней, а на тех признаках, которые свидетельствовали о связи структуры и функции. Кювье применил свой принцип классификации преимущественно к животным, а в 1810 г. швейцарский ботаник Августин Пирамус де Кандолль (1778—1841) использовал его и для классификации растений.

Кювье не мог не включить в свою систему классификации и окаменелостей. Недаром он был способен восстановить целый организм на основе отдельных частей, видел, что окаменелости — не просто предметы, похожие на живые организмы, они обладают признаками, которые позволяют поместить их в тот или иной из установленных типов и даже определить их место в пределах подгрупп данных типов. Так Кювье распространил биологическую науку на далекое про-

шное, заложив основы *палеонтологии* — науки об исчезнувших формах жизни.

Кювье установил связь между ископаемыми формами и слоями земной коры, в которой они были найдены: показал, что при переходе от древнего к более молодому слою строение ископаемых форм усложняется, а в некоторых случаях, расположив находки в определенном порядке, можно проследить и постепенные изменения. Окаменелости с очевидностью свидетельствовали об эволюции видов.

Однако теоретические взгляды Кювье находились в резком противоречии с полученными фактами. Согласно Кювье, Земля периодически претерпевала грандиозные катастрофы, во время которых уничтожалось все живое, после чего появлялись новые формы жизни, резко отличные от существовавших прежде. Современные формы (в том числе и человек) были сотворены после самой последней катастрофы. Согласно этой гипотезе, не требовалось признания эволюционного процесса, чтобы объяснить существование окаменелостей. Кювье допускал вероятность четырех катастроф. Однако, по мере того как обнаруживались все новые и новые ископаемые, вопрос осложнялся: кое-кому из последователей Кювье пришлось допустить существование двадцати семи катастроф.

Теория катастроф не согласовывалась с униформизмом Хэттона. В 1830 г. шотландский геолог Чарлз Лайель начал публикацию трехтомного труда «Основы геологии», в котором он излагал взгляды Хэттона и приводил доказательства в пользу того, что Земля претерпевала лишь постепенные и некатастрофические изменения. Продолжавшееся изучение окаменелостей говорило в пользу теории Лайеля: слоев, где была бы уничтожена вся жизнь, не обнаруживалось, более того, некоторые формы не только выживали в период предполагаемых катастроф, но и сохраняли свое строение почти неизменным на протяжении многих миллионов лет.

Появление книги Лайеля нанесло теории катастроф — последнему научному оплоту антиэволюционной теории — смертельный удар. Так к середине XIX столетия уже была подготовлена почва для создания научной теории эволюции.

Газы и жизнь

Классификация животных и растений и происшедшие к этому времени коренные изменения в области химии, в частности усовершенствование методики, дали толчок развитию нового, чрезвычайно перспективного направления биологии — исследованиям на живых организмах. Особенно наглядно это видно на ранних этапах изучения относительно доступной для экспериментов функции живого организма — процесса пищеварения.

В XVII в. существовали серьезные разногласия по поводу того, является ли пищеварение физическим процессом измельчения пищи в желудке, как утверждал Борелли, или химическим процессом, происходящим под действием желудочного сока, как предполагал Сильвий.

Французский естествоиспытатель Рене Антуан Реомюр (1683—1757) нашел пути разрешения этого вопроса. Он поместил мясо в маленький металлический цилиндр, закрытый с обеих сторон металлической сеткой, и заставил ястреба проглотить его. Цилиндр защищал мясо от механического перетирания, а сетка не препятствовала проникновению желудочного сока. Ястребы обычно отрыгивают неперевариваемые остатки пищи, и, когда ястреб Реомюра отрыгнул цилиндр, мясо внутри него оказалось частично переваренным. Реомюр проделал другой опыт — он поместил в цилиндр губку. Желудочный сок, которым пропиталась губка, выжали и смешали с мясом. Мясо постепенно растворилось. Вывод был один: пищеварение — химический процесс. Так была окончательно доказана роль химии в жизненных процессах.

Изучение газов, начатое Ван-Гельмонтом, в XVIII в. стало увлекательной областью для исследований. Воз-

никла необходимость установить роль различных газов в жизни организмов. В 1727 г. увидела свет книга одного из первых приверженцев экспериментального направления в биологии английского ботаника и химика Стивена Гейлса (1677—1761), в которой описывались опыты по измерению темпа роста растений и давления соков. Практически Гейлса можно считать основателем *физиологии растений*. Экспериментируя с различными газами, Гейлс впервые установил, что один из них (углекислота — CO_2) каким-то образом участвует в питании растений. Этим самым он изменил представление, что ткани растений образуются только из воды, как утверждал Ван-Гельмонт. Следующий шаг сделал полвека спустя английский химик Джозеф Пристли (1733—1804). В 1774 г. он открыл кислород. Ученый обнаружил, что этим газом приятно дышать, что он повышает активность животных и что растения обладают способностью увеличивать содержание кислорода в воздухе. Голландский врач и естествоиспытатель Ян Ингенхауз (1730—1799) установил, что процесс потребления растением углекислого газа и образования кислорода происходит только на свету.

Величайший химик века француз Антуан Лоран Лавуазье (1743—1794) показал огромное значение точных измерений в химии и использовал их для обоснования теории горения — химического соединения горючего вещества с кислородом воздуха. Эта теория с тех пор была признана единственно правильной. Лавуазье обнаружил также, что в воздухе наряду с кислородом содержится азот — газ, который не поддерживает горения.

«Новую химию» Лавуазье попробовали применить к живым организмам. Горящая свеча, потребляя кислород и выделяя углекислый газ, который образуется путем соединения углерода свечи с кислородом воздуха, гаснет под стеклянным колпаком, когда весь или почти весь кислород под ним израсходован; в тех же условиях мышь задыхается и гибнет, потребляя кислород и выделяя углекислый газ (последний получается в результате соединения углерода в тканях мышцы с кислородом воздуха). Итак, растения поглощают углекислый газ и выделяют кислород, в то время

как животные поглощают кислород, а выделяют углекислый газ. Таким образом поддерживается химический баланс земной атмосферы, содержащей 21 % кислорода и 0,03 % углекислого газа.

На основе этих фактов Лавуазье предположил, что дыхание представляет собой форму горения. Кроме того, в опытах Лавуазье свеча и мышь, потребляя определенное количество кислорода, выделяли соответствующее количество тепла. Техника измерений в этих опытах позволяла получить лишь приближенные результаты, но все же они подтверждали взгляды Лавуазье.

Это сильно укрепляло материалистическую концепцию жизни, так как показывало, что в живом и в неживом протекает один и тот же химический процесс, следовательно, управляют ими одни и те же законы.

С развитием физики в первой половине XIX в. точка зрения Лавуазье получает мощную поддержку. В эти десятилетия в связи с изобретением паровой машины внимание ученых привлекает теплота, которая оказалась способной производить работу, и другие явления, такие, как падение тел, движение воды и воздуха, свет, электричество, магнетизм и т. д.

В 1807 г. английский физик и врач Томас Юнг (1773—1829) предложил для обозначения явления, в результате которого происходит работа, термин «энергия» (в переводе с греческого — внутренняя работа). Физики начала XIX в. изучали процесс перехода одной формы энергии в другую и производили измерения этих изменений со все большей точностью. К 40-м годам XIX в. по крайней мере трое ученых — англичанин Джеймс Прескотт Джоуль (1818—1889) и немцы Юлиус Роберт Майер (1814—1878) и Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821—1894) — открыли закон сохранения и превращения энергии, согласно которому один вид энергии может переходить в другой, но общее ее количество при этом не уменьшается и не увеличивается.

Казалось естественным применить этот закон, основанный на множестве скрупулезных измерений, и к процессам в живой природе. Тот факт, что животное не может существовать, не получая постоянно энергию

из пищи, сам по себе показывает, что жизненные процессы не создают энергии из ничего. Растения не потребляют пищу и не дышат так, как животные, но, с другой стороны, они не могут существовать без периодически получаемой световой энергии.

Майер утверждал, что источником различных форм энергии на Земле являются световое излучение и тепло, идущие от Солнца. Это и есть источник энергии для растений, а через них и для животных (включая, конечно, и человека).

Применимость закона сохранения энергии как к неживой, так и к живой природе была полностью подтверждена только во второй половине XIX в.

Органические соединения

Однако виталисты еще не сдали своих позиций. Хотя им и пришлось признать, что закон сохранения энергии справедлив для живой природы и что, например, костер и животные потребляют кислород и образуют углекислый газ сходным образом, это рассматривалось лишь как обобщение, — ведь говорим же мы, что и человек и горная вершина материальны. Огромное количество неизученных частных случаев оставляло лазейку для виталистических толкований. А может, живые организмы включают в себя формы материи, совершенно непохожие на те, из которых состоит мертвая природа? Казалось бы, на этот вопрос следует отвечать утвердительно. Вещества земных пород, моря и воздуха представлялись стойкими и неизменными. Вода при нагревании кипела и превращалась в пар, но при охлаждении снова превращалась в жидкость. Железо или соль, плавясь, могли вновь затвердевать до первоначального состояния. С другой стороны, вещества, полученные из живых организмов, — сахар, бумага, оливковое масло — сохраняли нежность и хрупкость живых форм. При нагревании они дымились, обугливались или воспламенялись, и изменения, происходившие с ними, были необратимыми; из дыма и золы после охлаждения никак нельзя было вновь получить бумагу. Появилась полная уверенность, что это две разновидности материи. Шведский химик Иенс Якоб Берцелиус (1779—1848) предложил назы-

вать вещества, выделенные из живых (или живших когда-либо) организмов, органическими, а все остальные — неорганическими (1807). В то время как органические вещества легко превращались в неорганические, обратный процесс был невозможен без участия живых агентов. По мнению Берцелиуса, только живой организм благодаря присутствию в нем некой «жизненной силы» способен синтезировать органические вещества из неорганических (теория «жизненной силы»).

Однако и эта точка зрения продержалась недолго. Немецкий химик Фридрих Вёлер (1800—1882), изучая цианиды и близкие к ним соединения, считавшиеся в то время неорганическими, получил кристаллическое вещество, по составу и свойствам абсолютно тождественное кристаллам мочевины. Мочевина — главная составная часть мочи млекопитающих — определено органическое соединение. Таким образом, Вёлер впервые (1824) синтезировал из неорганических веществ органическое соединение.

Открытие Вёлера положило начало синтезу органических веществ и нанесло удар теории «жизненной силы». С появлением работ французского химика Пьера Эжена Марселена Бертло (1827—1907) не оставалось сомнений, что стена между органическим и неорганическим мирами рухнула. В 50-х годах XIX в. Бертло синтезировал из явно неорганических веществ ряд хорошо известных органических соединений, таких, как метиловый и этиловый спирты, метан, бензол и ацетилен.

С развитием аналитической химии уже в первые десятилетия XIX в. стало известно, что органические соединения состоят главным образом из углерода, водорода, кислорода и азота. Химики научились соединять все эти элементы таким образом, что полученное соединение обладало общими свойствами органических веществ, но не встречалось непосредственно в живых организмах.

Во второй половине XIX в. был осуществлен синтез многих органических соединений, и с этого времени стало невозможным определять органическую химию как науку о веществах, образованных только живыми организмами. Правда, все еще удобно было

разделять ее на две части, органическую и неорганическую, но уже определяя их как химию углеродных соединений и химию соединений, не содержащих углерода. Жизнь тут была ни при чем.

И все же оставалась область, куда виталисты еще могли отступить. Синтезированные органические соединения были относительно просты. В живых же существах большинство веществ настолько сложно, что химики XIX в. даже надеяться не могли их повторить.

В 1827 г. английский врач Уильям Праут (1785—1850) впервые разделил эти сложные соединения на три группы. Теперь мы называем эти группы веществ углеводами, жирами и белками. Углеводы (сахара, крахмал, целлюлоза и т. д.), так же как и жиры, состоят только из углерода, водорода и кислорода. Углеводы относительно богаты кислородом, тогда как жиры бедны им. Кроме того, многие углеводы в отличие от жиров растворяются в воде.

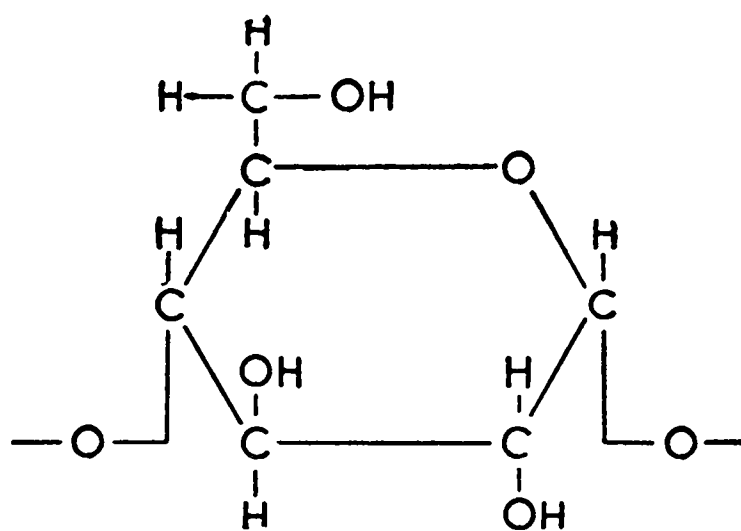
Наиболее сложными, хрупкими и наиболее специфичными для жизни оказались белки. Помимо углерода, водорода и кислорода, они содержат азот и серу; растворимые в холодной воде, они свертываются и становятся нерастворимыми даже при слабом нагревании.

Сначала белки называли альбуминами, так как наиболее известным белковым веществом был яичный белок альбумин. В 1838 г. голландский химик Жерар Иохан Мулдер (1802—1880) назвал их протеинами — «первостепенно важными». И именно на белковую молекулу виталисты возлагали особые надежды.

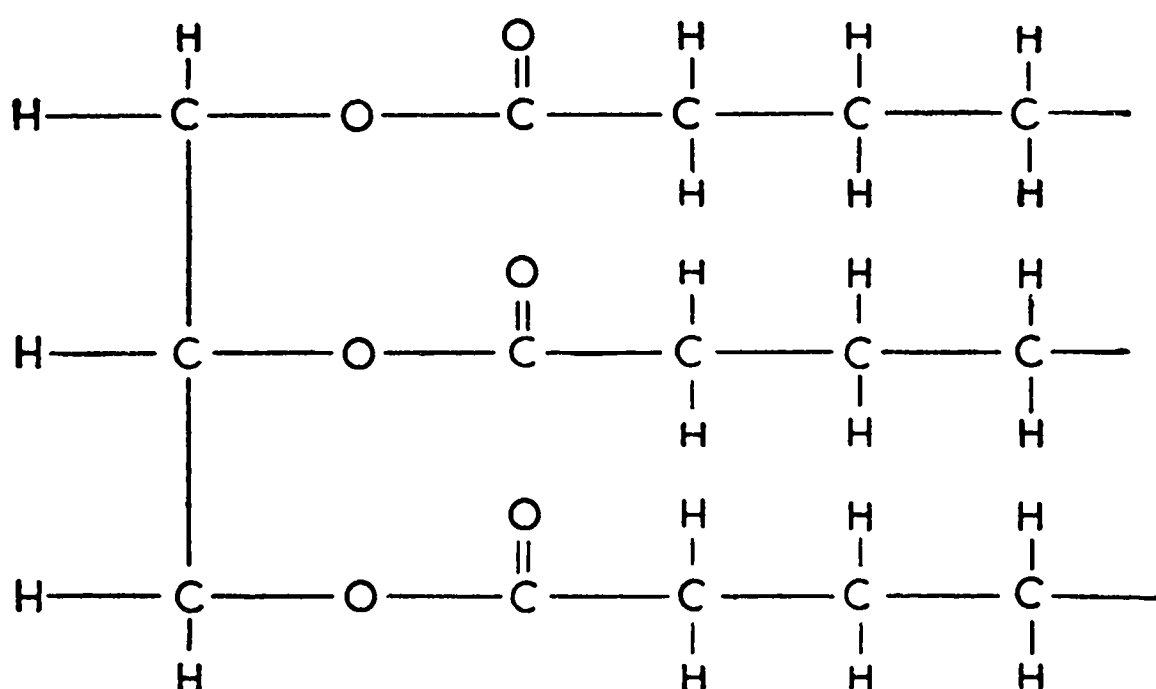
Однако успехи органической химии способствовали развитию идеи эволюции.

Было установлено, что все живые существа состоят из одних и тех же классов органических веществ — углеводов, жиров и белков, и, хотя они отличны у разных видов, эти различия носят второстепенный характер. Так, кокосовая пальма и корова чрезвычайно несхожи, но жиры кокосовых орехов и молока почти неразличимы.

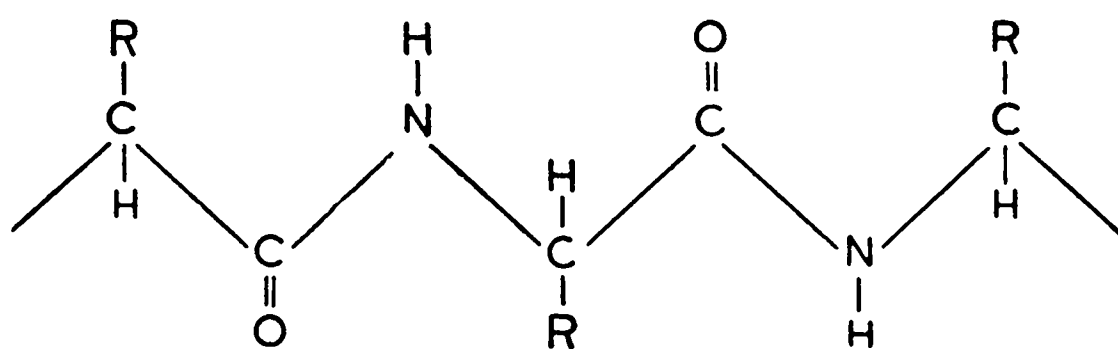
Далее, химикам середины XIX в. стало ясно, что сложные по структуре углеводы, жиры и белки распадаются в процессе переваривания пищи до относительно простых «строительных кирпичиков». Эти «кир-



Углевод



Жир



Белок

Р и с. 2. Химические формулы трех классов органических соединений, из которых состоят все живые организмы, — углеводов, жиров и белков.

Крахмал, относящийся к углеводам, представляет собой цепь из молекул глюкозы, содержащих шесть атомов углерода; здесь показано лишь одно структурное звено цепи. Жир состоит из цепи с тремя атомами углерода (слева) и трех длинных цепей жирных кислот (частично показанных справа). Изображенная на рисунке формула белка является частью полипептидной цепи — скелета белковой молекулы. R — боковые аминокислотные цепи (подробнее см. на стр. 157).

пичики» одинаковы для всех видов и только по-разному соединяются между собой. Один организм может использовать пищу, резко отличную от пищи другого организма (например, человек ест омаров, а корова — траву), но в обоих случаях пища распадается на одинаковые «строительные кирпичики», которые поглощаются организмом, а затем он складывает из них свои собственные сложные вещества.

А коль скоро жизнь с точки зрения химии едина во всем многообразии ее внешних проявлений, то и эволюционные превращения одного вида в другой, в сущности, касаются деталей и не требуют основательной перестройки. Это положение уже само по себе говорило в пользу эволюционной теории.

Ткани и эмбрионы

Благодаря успехам микроскопии биологи могли бы и не пользоваться достижениями смежных наук, чтобы обосновать единство органического мира.

Микроскоп в избытке давал пищу человеческому воображению. Первые исследователи, очарованные возможностью заглянуть в мир бесконечно малого, утверждали, что они видят такие детали, которые в действительности лежали за пределами разрешающей способности микроскопа или просто были плодом богатой фантазии. Так, они скрупулезно изображали микроскопических человечков (гомункулов), которых якобы видели в сперматозоидах.

По их представлениям, мельчайшим структурам не было конца: если в яйце или сперме заложена крошечная фигурка, то она может содержать в себе еще более мелкую, которая когда-нибудь будет ее потомком, и так до бесконечности. Были даже попытки вычислить, сколько гомункулов содержалось в прародительнице Еве; строились предположения, что человечество вымрет, когда иссякнет запас этих поколений, гнездящихся одно в другом. Учение преформистов, отрицавшее развитие вообще и рассматривавшее процесс образования организма как простое увеличение заложенного в половых клетках родоначальной особи невидимого, прозрачного зачатка, было явно антиэволюционным. Не было никаких оснований даже

предполагать изменения вида на протяжении всей цепи поколений.

Первую решительную атаку против этой теории предпринял русский академик физиолог Каспар Фридрих Вольф (1733—1794). В своей докторской диссертации (1759) Вольф детально описал развитие цветка и листа у растения. Он отметил, что кончик растущего побега, так называемая «точка роста», состоит из недифференцированных и очень обобщенных структур. Однако по мере роста ткани этого кончика специализируются так, что одна их часть в конце концов превращается в цветок, а другая в лист. Позднее ученый распространил свои выводы и на животных. Он показал, что недифференцированные ткани куриных эмбрионов, постепенно специализируясь, дают начало различным органам брюшной полости. Развитое Вольфом учение представляло собой эпигенез (термин, предложенный в 1651 г. Уильямом Гарвеем), согласно которому все существа, как бы они ни различались по внешнему виду, развиваются из простых «пузырьков» живой материи и одинаковы по своему происхождению.

Доказательства эпигенеза представил французский зоолог Этьен Жоффруа Сент-Илер (1772—1844). Создавая ненормальные условия для развивающихся куриных эмбрионов, он получал цыплят-уродов. Эти опыты положили начало *экспериментальной эмбриологии*, благодаря которой немецкий эмбриолог Вильгельм Ру (1850—1924) и его последователи, основываясь на изучении индивидуального развития многих животных, показали, что все изменения, происходящие в эмбриональном развитии, являются результатом реакции на внешние и внутренние воздействия.

Даже вполне развившиеся организмы не столь различны, как это может показаться с первого взгляда. Французский врач Мари Франсуа Ксавье Биша (1771—1802) в последние годы своей короткой жизни даже без помощи микроскопа обнаружил, что различные органы состоят из многих неодинаковых по виду компонентов. Он назвал эти компоненты тканями и таким образом положил начало *гистологии* — науке о тканях. Тканей оказалось не так много. Наиболее важные животные ткани: эпителиальная, соединитель-

ная, мышечная и нервная. Различные органы у самых разных видов животных построены из этого небольшого набора. Видовые различия животных тканей выражены не столь резко, как различия самих организмов. Больше того, Гук еще в середине XVII в. обратил внимание на то, что пробка состоит из маленьких прямоугольных ячеек, которые он назвал клетками. Наблюдения велись над мертвой тканью пробки, и клетки были пусты. Позднейшие исследователи, изучая под микроскопом живые свежевзятые ткани, нашли, что они также состоят из мельчайших элементов, окруженных стенками. Но в живых тканях эти элементы заполнены желеобразным содержимым, которое чешский физиолог Ян Эвангелиста Пуркинье (1787—1869) назвал в 1839 г. протоплазмой (от греческого *protos* — первый, *plasma* — что-либо сформированное). Немецкий ботаник Хуго фон Боль (1805—1872) использовал позднее этот термин применительно к любому веществу, составляющему ткань, а элементы живых тканей продолжали называть клетками. Вскоре биологи обнаружили, что клетки находятся решительно во всех живых тканях. В 1838 г. немецкий ботаник Маттиас Якоб Шлейден (1804—1881) показал, что все растения построены из клеток и что именно клетка является основной структурной «единицей жизни», тем мельчайшим живым элементом, из которого построен целый организм. В следующем году немецкий физиолог Теодор Шванн (1810—1882) расширил и дополнил это положение. Он пришел к выводу, что животным и растениям свойствен единый закон строения из клеток, а каждую клетку окружает отделяющая ее от остального мира оболочка и различные описанные Биша ткани состоят из особо специализированных клеток. Именно Шванну и Шлейдену обычно приписывают создание клеточной теории, хотя многие другие ученые тоже внесли в нее свой вклад. Так было положено начало *цитологии* — науке о клетках.

Допущение, что клетки являются элементарными единицами жизни, было бы особенно убедительным, если бы удалось показать способность клетки к независимой жизни вне окружения миллиардов и триллионов других клеток. Это сделал немецкий зоолог Карл

Теодор Эрнст Зибольд (1804—1885). В 1845 г. он выпустил книгу по сравнительной анатомии, в которой довольно четко доказал, что простейшие — маленькие животные, впервые обнаруженные Левенгуком, — это организмы, состоящие из одной клетки. Каждый такой организм окружен оболочкой и несет в себе все основные жизненные функции. Он заглатывает пищу, переваривает ее, ассимилирует и затем выбрасывает остатки. Простейшее ощущает действие среды и соответственно реагирует. Оно растет и, делясь пополам, размножается. Конечно, простейшее подчас крупнее и более сложно, чем клетка такого многоклеточного организма, как человек. Но клетка простейшего и должна быть иной, так как она обладает необходимыми для самостоятельной жизни свойствами, в то время как отдельные клетки многоклеточного организма могут и не иметь многих из этих свойств. Стало возможным показать значение отдельных клеток даже на многоклеточных организмах. Русский биолог Карл Максимович Бэр (1792—1876) в 1826 г. открыл яйцо млекопитающих, исправив неверное представление, что яйцом является весь граафов пузырек яичника, и проследил, каким образом оно превращается в самостоятельно живущий организм. В следующем десятилетии он выпустил большой двухтомный труд по этому вопросу, положив тем самым начало *эмбриологии* (изучению эмбрионального развития животных). Бэр возродил теорию эпигенеза Вольфа, детализировав и великолепно обосновав ее. Он показал, что развивающееся яйцо образует несколько слоев недифференцированных тканей, каждый из которых дает начало различным специализированным органам. Эти исходные слои ученый назвал зародышевыми листками.

Установлено, что для всех позвоночных типично образование трех зародышевых листков. Немецкий врач Роберт Ремак (1815—1865) дал им названия, которые сохранились и доныне: эктодерма (наружный), мезодерма (средний) и энтодерма (внутренний).

Швейцарский физиолог Рудольф Альберт Келликер (1817—1905) в 40-х годах XIX в. доказал, что и яйцо и сперматозоид также представляют собой клетки. (Позднее немецкий зоолог Карл Гегенбаур (1826—1903) показал, что даже большое птичье яйцо — это

одна клетка.) При слиянии сперматозоида и яйца образуется оплодотворенное яйцо, которое также пока остается одноклеточным. Слияние, или оплодотворение, является началом развития эмбриона. Хотя биологи к середине XIX в. уже представляли, как происходит этот процесс, детально он был описан только в 1879 г. швейцарским зоологом Германом Фолом, который наблюдал оплодотворение яйца морской звезды. К 1861 г. Келликер опубликовал руководство по эмбриологии позвоночных, где дал оценку работам Бэра с точки зрения клеточной теории. Каждый многоклеточный организм развивается из единственной клетки — оплодотворенного яйца. Оплодотворенное яйцо делится. Получившиеся в результате этого деления клетки еще не дифференцированы, однако постепенно они специализируются в различных направлениях, пока не образуются сложные взаимосвязанные структуры взрослых форм. В этом и состоит эпигенез, выраженный в терминах клеточной теории.

Мысль о единстве жизни заметно укрепилась. Оказалось, что оплодотворенные яйцеклетки человека, жирафа и макрели незначительно отличаются друг от друга. Только по мере развития зародыша постепенно начинают проявляться различия. Мельчайшие, еле уловимые структуры эмбриона превращаются в одном случае в крылья, в другом — в руки, в третьем — в лапы, в четвертом — в плавники. Бэр признавал, что родственные отношения животных легче установить при сопоставлении эмбрионов, нежели при сравнении взрослых организмов, поэтому его следует считать основателем *сравнительной эмбриологии*.

Видовые отличия, оцениваемые с точки зрения клеточной теории, казались незначительными и вполне воспроизводимыми в процессе эволюционного развития.

Бэр смог показать, что у зародышей позвоночных спинная струна, или хорда, — плотный стержень, тянущийся вдоль спины, — присутствует временно, и лишь примитивные рыбоподобные существа сохраняют ее на протяжении всей жизни. Эти примитивные животные были впервые изучены и описаны в 60-х годах XIX в. русским зоологом Александром Онуфриевичем Ковалевским (1840—1901). У позвоночных хорда быстро

замещается состоящим из позвонков позвоночным столбом. Тем не менее и позвоночные и эта немногочисленная группа беспозвоночных объединены в один тип хордовых. Хорда, существующая столь короткое время в процессе эмбрионального развития всех позвоночных (даже человека), свидетельствует о единстве происхождения всех позвоночных от каких-то примитивных, имевших хорду предков.

Из уст представителей всех направлений биологии — сравнительной анатомии, палеонтологии, биохимии, гистологии, цитологии и эмбриологии — раздавались сперва робкие, а к середине XIX в. все более настойчивые голоса о неизбежности признания эволюционной концепции. Оставалось лишь понять, каким образом осуществлялась эволюция.

Естественный отбор

Английский естествоиспытатель Чарлз Дарвин (1809—1882) первым понял механизм эволюции и утвердил его в умах биологов.

В юности Дарвин пытался изучать медицину, а позднее — богословие, но с детства его увлекала естественная история и в годы студенчества захватила настолько серьезно, что биология стала его специальностью. В 1831 г. Дарвину предложили занять место натуралиста на корабле английского флота «Бигль», который готовился к кругосветной научной экспедиции. За время пятилетнего плавания Дарвин проявил себя как талантливый натуралист; и именно благодаря его участию эта экспедиция стала самой важной исследовательской экспедицией в истории биологии.

Перед путешествием Дарвин прочел первый том «Основ геологии» Лайеля и поэтому уже имел четкое представление о древности Земли и длительности развития жизни на ней. Продвигаясь с экспедицией вдоль берегов Южной Америки, он не мог не обратить внимания на то, как постепенно, лишь незначительно отличаясь друг от друга, сменяются виды животных и растений.

Наиболее удивительными были наблюдения, которые Дарвин сделал во время недельной стоянки на Галапагосских островах, за тысячу километров от побережья Эквадора. Здесь Дарвин изучил группу птиц, известную теперь под названием Дарвиновы вьюрки. Эти во многих отношениях очень близкие птицы делятся по меньшей мере на 14 видов, ни один из которых не встречается на ближайшем материке или где-либо еще в мире. Дарвин предположил, что какой-то материковый вид вьюрка очень давно заселил острова и что постепенно на протяжении веков происходило

превращение этого исходного вида в различные ныне живущие. У одних птиц развилась способность употреблять в пищу один сорт семян, у вторых — другой, третьи стали насекомоядными. В зависимости от образа жизни у каждого вида сформировался специфический клюв, свои размеры и особое строение тела. Таким образом, родительский вид вьюрков нашел на Галапагосе сравнительно малонаселенную страну и достаточно подходящие условия для образования многих разновидностей, в то время как на материке этого не произошло.

Но один момент, и притом основной, оставался необъясненным. Что вызывает такие эволюционные изменения? Что заставляет зерноядный вид вьюрка превращаться в насекомоядный? Дарвин не принял гипотезы Ламарка, согласно которой следовало бы предположить, что вьюрки, случайно попробовав питаться насекомыми, приобретали вкус к этой пище и передавали потомкам повышенную способность к ее усвоению и тенденцию к соответствующему изменению упражняемых органов (клюва, например). Ученый понял, что в естественных условиях в основе изменчивости растений и животных лежит тот самый отбор, который практиковался человеком при выведении культурных сортов растений и пород домашних животных еще с эпохи неолита. Он заключил, что наиболее приспособленные растения и животные оставляют более многочисленное потомство, чем менее приспособленные. Однако законов действия естественного отбора он еще не знал.

Через два года после возвращения в Англию Дарвин познакомился с книгой «Опыт о законе народонаселения, или изложение прошедшего и настоящего действия этого закона на благоденствие человеческого рода, с приложением нескольких исследований о надежде на устранение или смягчение причиняемого им зла», написанной сорока годами ранее английским экономистом Томасом Робертом Мальтусом (1766—1834). Утверждая, что прирост населения в человеческом обществе всегда выше, чем рост производства средств существования, Мальтус оправдывал голод, эпидемии и войны как факторы, сокращающие численность населения.

Дарвин использовал идею Мальтуса о регуляции численности населения недостаточностью пищи и пришел к выводу, что в природе в первую очередь гибнут особи, не обладающие преимуществами в борьбе за существование. Так, первые вьюрки беспрепятственно размножались на Галапагосе, пока не истощились запасы семян, служивших им пищей. Часть вьюрков стала голодать, в первую очередь те, кто был послабее и менее приспособлен к поискам семян. А что если некоторые из птиц стали питаться более крупными или крепкими семенами и даже иногда проглатывать насекомых? Голодание должно было понизить размножение тех, у кого не проявились такие способности. В то же время стали быстро размножаться вьюрки, нашедшие какие-то новые, пусть не очень привычные для них, но нетронутые запасы пищи.

Иными словами, влияние среды благоприятствует возникновению различий и расхождению признаков, пока не образуются самостоятельные виды, которые отличаются и друг от друга и от общего предка. Сама природа, так сказать, производит отбор более выносливых особей, и путем такого «естественного отбора» жизнь разветвляется на бесконечное множество форм.

Дарвин пытался уяснить, каким образом возникают необходимые изменения. Занимаясь выведением новых пород домашних животных, он мог заметить, что в любой группе животных наблюдаются случайные отличия особей: в размерах, окраске, поведении. Используя преимущества такой изменчивости, сознательно содействуя размножению одних вариантов и уничтожая другие, человек на протяжении ряда поколений смог создать различные породы крупного рогатого скота, лошадей, овец и кур, а дав волю фантазии, получил собак и золотых рыбок самых причудливых форм. Не может ли природа, подобно человеку, производить отбор, конечно гораздо медленнее, на протяжении более длительного периода, но зато приспособив животных к условиям их существования, а не к человеческому вкусу и потребностям?

Дарвин обратил внимание на половой отбор: самки животных предпочитают наиболее ярко окрашенных самцов. Вероятно, таким путем и появился нелепый красавец павлин. Заинтересовался Дарвин

и рудиментарными органами, которые в прошлом могли быть далеко не бесполезными. Так, обнаруженные у китов и змей остатки костей когда-то служили частями тазового пояса и задних конечностей. Это заставляло предположить, что киты и змеи — потомки существ, передвигавшихся с помощью ног.

Дарвин был исключительно добросовестным исследователем, он подолгу, с большой тщательностью собирал и классифицировал факты. Только в 1844 г. он взялся за перо, однако еще в течение десяти лет ему не удавалось четко сформулировать свою теорию.

Тем временем другой английский естествоиспытатель, Альфред Рассел Уоллес (1823—1913), также занялся этой проблемой. Подобно Дарвину, он потратил значительную часть жизни на путешествия. В 1848—1852 годах он побывал в Южной Америке, а в 1854 г. — на Малайском архипелаге. Его внимание привлекли различия между млекопитающими Азии и Австралии. Позднее, изучая географическое распределение видов, Уоллес показал, что по Малайскому архипелагу — по глубоководному проливу между островами Борнео и Целебес, а также Бали и Ломбок — проходит граница (и до сих пор известная под названием Уоллесовской линии), разделяющая его фауну и флору на азиатскую и австралийскую части. Отсюда возникло деление животных на большие континентальные и суперконтинентальные группы.

Млекопитающие Австралии казались Уоллесу гораздо более примитивными и менее жизнеспособными, чем млекопитающие Азии, и он полагал, что в любом соревновании именно их ожидает гибель. Причина, по которой австралийские млекопитающие все-таки выжили, видимо, состояла в том, что Австралия и прилегающие острова отделились от азиатского материка еще до образования более совершенных азиатских видов. Уоллес пришел к выводу, что эволюция совершается путем естественного отбора, и послал Дарвину на отзыв статью с изложением основ теории отбора (не зная, что тот работает над этой же проблемой). Дарвина поразило такое совпадение взглядов. По настоянию Лайеля и других ученых работы Дарвина и Уоллеса были одновременно опубликованы в 1858 г. в научном журнале Линнеевского общества в Лондоне.

В следующем году Дарвин наконец опубликовал свою книгу «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь», обычно называемую просто «Происхождение видов».

Ученый мир ждал появления этой книги. Первые отпечатанные 1250 экземпляров были раскуплены в один день. Книга расходилась изданием за изданием, и до сих пор, сто лет спустя, спрос на нее не иссяк.

Борьба вокруг эволюционной теории

Нет сомнения в том, что «Происхождение видов» занимает важнейшее место в истории биологии. Многие области науки получили новое осмысление благодаря эволюционной идее естественного отбора. Эта теория дала рациональное объяснение данным, накопленным систематикой, эмбриологией, сравнительной анатомией и палеонтологией. Биология приобрела наконец теоретическую основу.

Однако многим трудно было безоговорочно принять дарвиновскую теорию, которая опрокидывала весьма почитаемые человеком представления, в частности отвергала идею божественного сотворения мира и человеческого рода. Даже нерелигиозных людей отталкивала мысль, что прекрасное царство жизни и сам человек обязаны своим существованием слепому и бесчувственному случаю.

В Англии на стороне оппозиции выступил ученик Кювье зоолог Ричард Оуэн (1804—1892). Как и его учитель, он был большим специалистом по реконструкции вымерших животных на основе ископаемых остатков. Оуэн возражал не против самой идеи эволюции, а против случайности в ее осуществлении. Он понимал эволюцию как проявление некоторого внутреннего побуждения.

Сам Дарвин активно не боролся за собственную теорию, так как был слишком мягок (и к тому же болен), чтобы участвовать в спорах. В его защиту выступил английский естествоиспытатель Томас Генри Гексли (1825—1895). Блестящий популяризатор, он, как никто другой, сделал идею эволюции доступной и понятной каждому.

Во Франции, где над биологами десятилетиями довлел авторитет Кювье, дарвинизм поначалу не пользовался успехом. Однако в Германии он нашел более благоприятную почву. Немецкий естествоиспытатель Эрнст Генрих Геккель (1834—1919) был не только последователем Дарвина, но в некоторых отношениях пошел дальше него. Он рассматривал развитие зародыша как краткое повторение эволюции вида. Так, развитие млекопитающего, подобно развитию организма простейшего, начинается со стадии одной-единственной клетки. Клетка развивается в существо, состоящее из двух зародышевых листков и напоминающее медузу; затем появляется третий листок, и оно становится похожим на примитивного червя. Впоследствии у зародыша млекопитающего развивается, а потом исчезает хорда, присущая примитивным хордовым; далее возникают и исчезают структуры, напоминающие зачатки рыбьих жабр.

Против Геккеля активно выступил старейший эмбриолог Карл Бэр, сам вплотную подошедший к этим же идеям, но так и не принявший теории Дарвина. Правда, Геккель в своих утверждениях доходил до крайностей; биологи наших дней уже не рассматривают эмбриональное развитие как буквальную и достоверную картину эволюции вида.

В США приверженцем учения Дарвина был американский ботаник и в то же время видный религиозный деятель Аса Грей (1810—1888). Его противником был швейцарский естествоиспытатель Жан Луи Рудольф Агассис (1807—1873), который получил известность благодаря всестороннему изучению ископаемых рыб. Он проводил многолетние исследования ледниковых отложений и обосновал существование в истории Земли ледниковой эпохи. Ему удалось показать на примере альпийских массивов родной Швейцарии, что ледники медленно передвигаются, захватывая с собой валуны и щебень и выравнивая скалы, по которым они движутся. Агассис обнаружил следы перемещения ледников на скалах в тех районах, где на памяти человека ледников не было. В 1846 г. Агассис прибыл в США для чтения лекций, но интерес к природе Северной Америки заставил его остаться там.

И в Америке Агассис повсюду находил признаки древнего оледенения. Он пришел к выводу, что много тысяч лет назад обширные области земной поверхности лежали под ледяным покровом.

Ледниковый период (теперь известны четыре ледниковых периода на протяжении последнего полумиллиона лет) свидетельствовал против крайнего униформизма Хэттона и Лайеля. В объяснении причин древнего оледенения Агассис выступал как приверженец теории катастроф Кювье. До конца жизни он не принял теории Дарвина и оставался поборником идеи божественного сотворения мира.

Происхождение человека

Естественно, самым уязвимым местом дарвиновской теории было ее приложение к человеку. Дарвин в «Происхождении видов» эту проблему обошел, а его соавтор по теории естественного отбора Уоллес решительно утверждал, что человек не подвержен эволюционным изменениям (в более поздние годы он занялся спиритизмом). Однако совершенно нелогично было предполагать, что эволюционируют все виды организмов, кроме человека. И действительно, постепенно накапливались факты, подтверждавшие, что человек также вовлечен в эволюционный процесс.

В 1838 г. французский археолог Жак Буше де Перт (1788—1868) обнаружил на севере Франции топорща. Слой земли, в котором они были найдены, позволял утверждать, что их возраст исчисляется многими тысячелетиями. Очевидно было, что топорща не являются предметами естественного происхождения, их мог сделать только человек. Это было первым свидетельством того, что возраст не только Земли, но и человека вопреки Библии значительно превышает шесть тысячелетий.

Опубликованная Буше де Пертом в 1846 г. книга о его находках произвела огромное впечатление на современников. Однако французские биологи под влиянием идей Кювье долго еще отказывались признать эти находки, хотя в 50-х годах археологи обнаружили и более древние орудия. В 1859 г. несколько английских ученых, посетив места находок Буше де

Перта, объявили себя его сторонниками. А четырем годами позже геолог Лайель, используя находки Буше де Перта, выпустил книгу «Геологические доказательства древности человека», в которой не только решительно отстаивал дарвиновские идеи, но и распространял их на человека. С книгой, поддерживающей эти взгляды, выступил и Гексли.

Вскоре увидела свет вторая большая работа Дарвина — «Происхождение человека и половой отбор» (1871), где открыто провозглашался факт эволюции человека. Рудиментарные органы человека рассматривались в ней как свидетельство эволюционных изменений: аппендикс — как остаток органа, в котором пища могла накапливаться и подвергаться переработке под действием бактерий; четыре нижних позвонка когда-то были частью хвоста; нефункционирующие ушные мускулы были унаследованы от предков, которые двигали ушами, и т. д.

Но к этому времени ученые располагали не только косвенными доказательствами эволюции человека. Были найдены остатки самого древнего человека. Летом 1856 г. в Германии в долине Неандерталь возле Дюссельдорфа нашли явно человеческие кости и череп. Они были обнаружены в пластах, возраст которых насчитывал многие тысячелетия. Возникли споры, принадлежали ли эти костные остатки примитивному предку современного человека или дикарю с деформированным вследствие перенесенных заболеваний скелетом.

В частности, немецкий врач Рудольф Вирхов (1821—1902), ярый противник учения Дарвина, считал, что это скелет старика, перенесшего рахит в юности и подагру к концу жизни, а основатель французской антропологической школы Поль Брока (1824—1880) утверждал, что как у больного, так и у здорового современного человека не может быть такого черепа, как найденный, и что неандерталец представляет собой примитивную форму человека, весьма отличную от современной.

Для решения спора требовалось найти костные остатки промежуточных между человеком и человекообразными обезьянами форм. К тому времени уже были обнаружены промежуточные звенья среди иско-

паемых животных. Так, в 1861 г. Британский музей приобрел ископаемые остатки существа, которое, без сомнения, следовало отнести к птицам, так как на камне имелись отпечатки перьев, но у этого существа были хвост и зубы, похожие на зубы ящеров. Эта находка была воспринята как лучшее из всех возможных свидетельств того, что птицы произошли от рептилий.

Однако многолетние поиски такого промежуточного звена в эволюции человека были безрезультатными. Успех пришел к голландскому анатому и антропологу Эжену Дюбуа (1858—1940). Дюбуа полагал, что примитивное человекообразное существо может быть найдено в тех местах, где до сих пор много человекообразных обезьян: либо в Африке — обиталище шимпанзе и горилл, либо в Юго-Восточной Азии, где живут орангутанг и гиббон.

В 1887 г. Дюбуа отправился на Суматру, где в течение трех лет вел бесплодные раскопки, а потом переехал на Яву. Именно на Яве Дюбуа удалось найти черепную крышку, бедренную кость и два зуба, несомненно принадлежавшие примитивному человеку. Черепная крышка была гораздо крупнее, чем у любой современной обезьяны, но значительно меньше, чем у любого из ныне живущих людей. Существо, которому принадлежали эти остатки, назвали питекантропом *Pithecanthropus erectus* — обезьяночеловек (прямоходящий). В 1894 г. Дюбуа издал обширный труд, где подробно описал свои находки.

И снова споры среди ученых. Но аналогичные открытия сделали в Китае, Африке. В наше время известно уже несколько «промежуточных звеньев» и нет никаких оснований сомневаться в факте эволюции человека и эволюции вообще, хотя и в XX в. выдвигалось множество антиэволюционных концепций. Сегодня трудно представить себе истинного ученого, придерживающегося антиэволюционных воззрений.

Боковые ветви эволюционной теории

Ошибались не только те, кто отрицал теорию эволюции, но и те, чей энтузиазм распространял ее на области, где она неприложима. Так, английский

философ Герберт Спенсер (1820—1903), который пришел к идее эволюции еще до опубликования книги Дарвина, пытался с ее помощью объяснить развитие человеческого общества и его культуры, став пионером *социологии*.

Развитие человеческого общества Спенсер рассматривал как переход от однородного, простого уровня до современного разнородного и сложного состояния. Опираясь терминами «эволюция», «выживание наиболее приспособленного», Спенсер пытался доказать, что неперенным спутником эволюционного прогресса в обществе является соревнование человеческих индивидуумов, при котором слабые неизбежно терпят неудачу. Спенсер не учитывал огромной роли в развитии человеческого общества взаимопомощи, заботы о больных и престарелых.

Учение Спенсера сыграло свою отрицательную роль в истории. Накануне первой мировой войны в руках националистов и милитаристов оказалась теория, утверждавшая, что война — это «благо», так как она обеспечивает выживание наиболее приспособленных.

К счастью, теперь уже не существует романтических иллюзий относительно последствий грязных войн.

Английский антрополог Фрэнсис Гальтон (1822—1911), двоюродный брат Чарлза Дарвина, положил начало другому направлению. Заинтересовавшись вопросами наследственности, он первым отметил важность изучения однояйцевых близнецов, наследственные задатки которых следует считать одинаковыми, а различия — приобретенными под влиянием внешней среды.

Изучая частоту проявления высоких умственных способностей в отдельных семьях, Гальтон получил данные, доказывавшие их наследуемость. В связи с этим он предположил, что путем соответствующей селекции умственные способности и другие желательные качества человека можно усилить, а нежелательные — устранить. Науку о методах, с помощью которых можно наилучшим образом осуществить такой контроль, он назвал в 1883 г. евгеникой. Однако чем глубже познается механизм наследования, тем мень-

ше биологи верят в возможности целенаправленного разведения для улучшения расы людей. Это очень сложная проблема. Хотя евгеника на вполне законных основаниях остается отраслью биологии, не следует забывать, что находятся и такие далекие от науки люди, которые используют ее язык для пропаганды расизма.

Слабое место в теории Дарвина

Процесс передачи потомству родительских наследственных факторов долгое время оставался совершенно непонятным. Открытие в конце XVII в. сперматозоида вызвало целую дискуссию. Одни утверждали, что будущий зародыш целиком заключен в яйцеклетке и оплодотворение является лишь толчком к развитию. Другие настаивали на том, что будущий зародыш помещается в сперматозоиде, а яйцеклетка лишь обеспечивает его питание. Спорщики сходились на том, что носителем наследственных факторов является одна родительская особь.

Только в середине XVIII в. в результате наблюдений над детьми от смешанных браков у человека и исследования экстерьера мулов было установлено, что признаки наследуются от обоих родителей. Пьер Луи Моро Мопертюи (1698—1759) выдвинул теорию, согласно которой наследственные признаки у потомков формируются и определяются «семенными частицами» обоих родителей.

Даже в XIX в. еще не было правильного представления о наследственном механизме. Именно поэтому эволюционная теория так часто применялась неудачно. Спенсер считал возможным быстрое изменение человеческого поведения: Гальтону казалось весьма несложным усовершенствовать человеческую расу с помощью подбора производителей при размножении. Подобные воззрения биологов объяснялись, по сути дела, недостатком знаний о природе наследственного механизма. Это было самое слабое звено в теории Дарвина. Дарвин предполагал, что среди молодых особей любого вида наблюдается непрерывная случайная изменчивость, причем определенные изменения делают животных более приспособленными к окру-

жающей среде. Так, жирафу тем легче прокормиться, чем длиннее у него шея.

Но где гарантия, что этот признак повторится у потомства? Вряд ли жираф выискивал особо длинношеего супруга, гораздо вероятнее, что ему пришлось встретиться с короткошеим. При скрещивании крайних вариантов происходит смешение признаков, так что у потомства длинношеего и короткошеего жирафов шея будет средней длины, — к такому убеждению привел Дарвина весь его опыт по разведению животных.

Иными словами, в результате случайного спаривания все полезные и приспособительные признаки, которые проявляются при случайной изменчивости, усредняются. Раз естественному отбору нечего «отбирать», то и эволюционных изменений происходить не будет.

Попытки биологов объяснить это явление оказались безуспешными. Немецкий ботаник Карл Вильгельм Негели (1817—1891) прекрасно сознавал, как сложно найти четкое обоснование «усреднения» и его последствий. Он предположил, что эволюционные изменения направляются в определенную сторону каким-то внутренним толчком.

Так, судя по палеонтологическим данным, предками лошадей были животные величиной с собаку, имевшие по четыре копытца на каждой стопе. С течением времени эти животные становились крупнее и утрачивали одно копытце за другим, пока не превратились в современную крупную однокопытную лошадь. Негели предполагал, что побудительным фактором этого процесса было действие некой внутренней силы. Если бы она действовала и дальше, лошади могли бы стать слишком крупными и неуклюжими и, следовательно, беззащитными против врагов; им грозило бы постепенное вымирание.

Эта теория носит название теории ортогенеза. Современные биологи ее отвергают. Как мы увидим дальше, приверженность Негели к этой теории неожиданно принесла скверные плоды.

Горох Менделя

Проблема была решена благодаря трудам чешского натуралиста Грегора Иоганна Менделя (1822—1884). Мендель занимался и математикой и ботаникой.

Начиная с 1856 г. он в течение девяти лет изучал наследственные признаки гороха, используя статистические приемы обработки результатов.

Ученому нужна была полная уверенность, что наследуются признаки только одного родителя, поэтому он очень тщательно проводил самоопыление различных растений, аккуратно собирал с каждого самоопыленного растения семена, отдельно высаживал их и изучал новое поколение.

В результате этих опытов Мендель обнаружил, что горошины от карликовых растений и в первом и в последующих поколениях дают только карликовые растения. Таким образом, карликовые растения чистосортны.

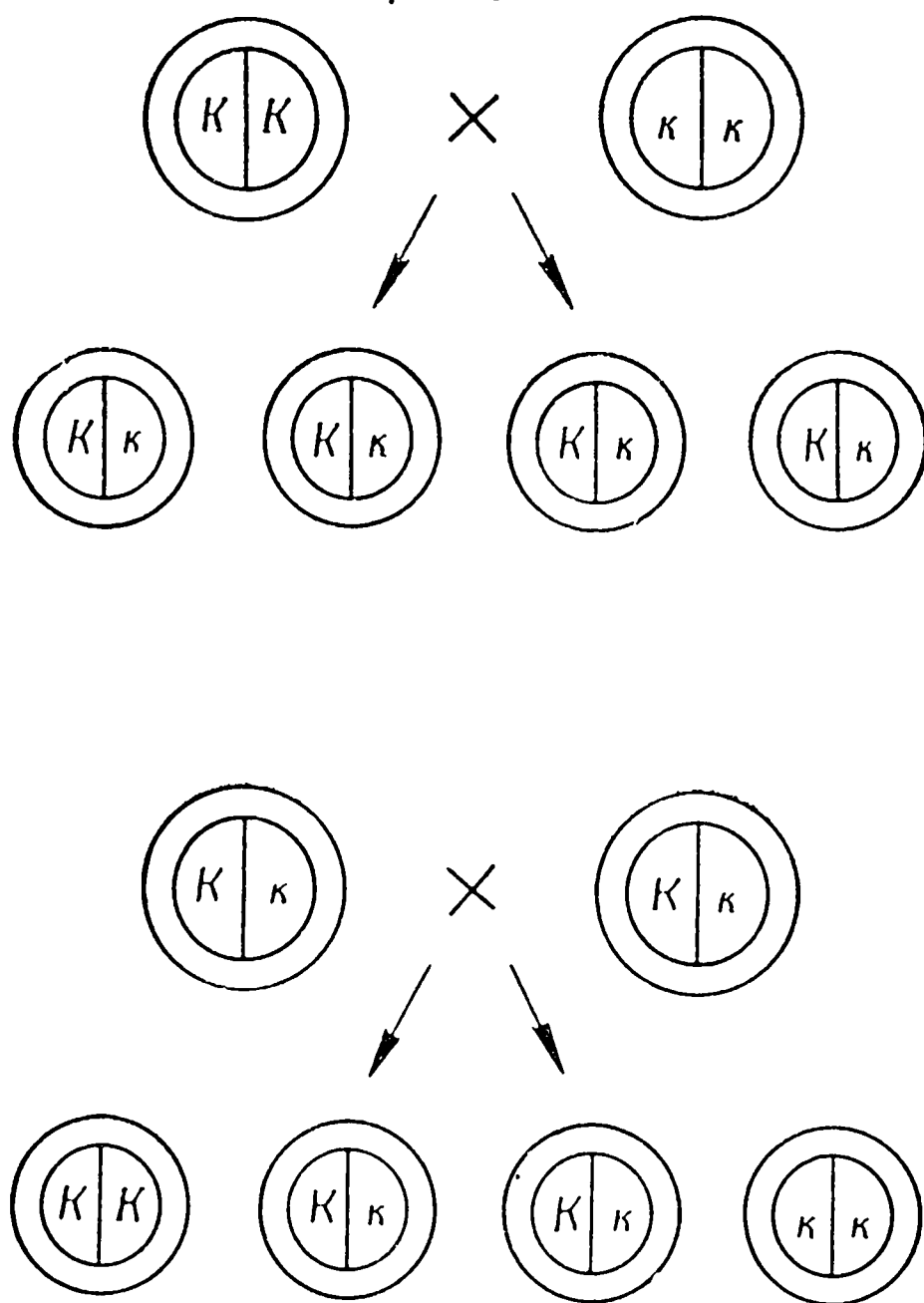
Высокорослые растения вели себя по-разному. Некоторые (более трети) оказались чистосортными и поколение за поколением давали высокие растения. Часть остальных семян давала высокие, а часть — карликовые растения, причем высокорослых всегда получалось в два раза больше, чем карликовых. Очевидно, имелось два типа высоких растений — чистосортные и нечистосортные.

Мендель пошел дальше. Он скрестил карликовые растения с чистосортными высокорослыми и обнаружил, что из каждого гибридного семени вырастает высокое растение. Казалось бы, признаки карликовости исчезли.

Произведя затем самоопыление каждого гибридного растения, Мендель изучил полученные семена. Все гибридные растения оказались нечистосортными. Около одной четверти горошин дали карликовые растения, одна четверть — чистосортные высокорослые, а оставшаяся половина — нечистосортные высокорослые растения.

Мендель предположил, что каждое растение гороха несет два фактора, определяющих какой-либо признак, в данном случае — высоту. Один фактор содержится в пыльце, другой — в семяпочках. После оплодотворения новое поколение содержит уже оба фактора (по одному от каждого родителя, если произошло скрещивание двух растений). У карликовых растений имеются только факторы «карликовости»; при комбинации их путем перекрестного опыления или самоопы-

K - высокорослые растения
k - карликовые растения
Kk - нечистосортные, или гибридные, высокорослые растения



Р и с. 3. Схема, объясняющая опыты Менделя по скрещиванию высокорослых и карликовых растений гороха.

Вверху — скрещивание чистосортного высокорослого растения с карликовым, которое дает гибридные, или нечистосортные, высокорослые растения. Внизу — скрещивание между собой гибридных растений первого поколения, которое дает чистосортные высокорослые растения, гибридные высокорослые растения и карликовые растения в отношении 1:2:1. Фактор карликовости обозначается буквой *k*, так как он рецессивен, а соответственный ему доминантный фактор высокорослости — *K*.

ления получают только карликовые растения. Чистосортные высокорослые растения содержат только факторы «высокорослости», и их комбинации дают только высокие растения.

Когда чистосортные высокие растения скрещиваются с карликовыми, факторы «высокорослости» и «карликовости» комбинируются и следующее поколение

оказывается гибридным. Все гибриды будут высокими, так как фактор «высокорослости» является доминантным, маскирующим действие фактора «карликовости». Последний, однако, не исчезает, а сохраняется.

Такие гибриды не будут вести себя как чистосортные, потому что содержат оба фактора, комбинации которых определяет чистая случайность. Фактор «высокорослости» может комбинироваться с другим фактором «высокорослости», тогда появится чистосортное высокорослое растение. Так произойдет в одной четверти случаев. В другой четверти фактор «карликовости» в комбинации с другим фактором «карликовости» дает карликовое растение. В оставшейся половине фактор «высокорослости» сочетается с фактором «карликовости» или фактор «карликовости» — с фактором «высокорослости»; при этом получаются высокорослые нечистосортные растения.

Мендель показал, что наследование любого признака можно объяснить таким же образом, причем для всех изученных им признаков скрещивание двух крайностей не приводило к смешению наследственности — каждый вариант сохранялся без изменения; если он исчезал в одном поколении, то появлялся в следующем.

Все это имело немаловажное значение для эволюционной теории (хотя сам Мендель никогда не думал о приложении к ней своих идей), так как позволяло сделать следующий вывод. Случайные вариации, в течение какого-то промежутка времени возникающие внутри вида, в конечном счете не усредняются, а исчезают и проявляются вновь, пока их в полной мере не использует естественный отбор.

Причина, по которой унаследованные признаки часто выглядят промежуточными, состоит в том, что при скрещивании растений и животных большинство признаков обычно является комбинацией нескольких факторов. Различные компоненты наследуются независимо, но в то же время по принципу «да» или «нет». Среднее количество «да» или «нет» определяет появление промежуточного признака.

Открытия Менделя касались и евгеники. Искоренить нежелательные признаки оказалось не так легко, как представлялось вначале. Не проявившись в одном

поколении, они могут обнаружиться в следующем. Размножение, сопровождаемое отбором, — процесс более тонкий и более продолжительный, чем думал Гальтон.

Однако мир был еще не подготовлен к тому, чтобы оценить эти факты. Тщательно описав результаты своих экспериментов, Мендель решил заинтересовать какого-нибудь известного ботаника, чтобы заручиться его поддержкой. Поэтому в начале 60-х годов XIX в. он переслал свои работы Негели. Тот прочел рукопись и отозвался весьма холодно. Теория, основанная на подсчетах растений гороха, не произвела на него никакого впечатления. Он предпочитал туманный и многословный мистицизм, который так характерен для его собственного учения об ортогенезе.

Неудача обескуражила Менделя. В 1866 г. он опубликовал свою статью, но исследований уже не продолжал. Да и статья не обратила на себя особого внимания, поскольку Негели не поддержал Менделя. Менделя с полным правом можно назвать основателем учения о механизмах наследственности, которое теперь называется генетикой, но в то время никто этого не предполагал, в том числе и он сам.

Мутации

Во второй половине XIX столетия возникла другая проблема, связанная с развитием эволюционных идей. В результате новейших открытий, сделанных физиками, появилось неожиданное представление о значительно меньшей длительности истории Земли. С провозглашением закона сохранения энергии возник вопрос об источнике солнечной энергии. О радиоактивности и ядерной энергии стало известно много позже, так что в течение XIX в. не было дано удовлетворительных доказательств того, что Солнце пребывало в его теперешнем состоянии на протяжении по крайней мере десятков миллионов лет.

Для эволюции по дарвиновскому типу времени было явно недостаточно, и некоторые биологи, в том числе Негели и Келлиker, предположили, что эволюция идет скачками. Хотя потом выяснилось, что масштаб времени определен неправильно, мысль о скач-

кообразности эволюционного процесса все же оказалась плодотворной.

Голландский ботаник Гуго де Фрис (1848—1935) также принадлежал к тем, кто заговорил о скачках в эволюции. Как-то на заброшенном лугу ему попалась на глаза заросль ослинника — растения, незадолго до этого завезенного в Нидерланды из Америки. Наблюдательный глаз ботаника отметил, что некоторые из этих растений резко отличались по внешнему виду, хотя и происходили, вероятно, от общего предка.

Он перенес ослинник в сад, стал разводить каждую форму отдельно и постепенно пришел к выводам, которые за много лет до него сделал Мендель: индивидуальные свойства передаются из поколения в поколение, не претерпевая смещения и усреднения; время от времени появляются новые признаки, заметно отличающие эти растения от других и сохраняющиеся в следующих поколениях. Де Фрис назвал такие внезапные изменения мутациями (от латинского *mutatio* — изменение) и решил, что он наблюдает скачкообразно протекающую эволюцию вида. В действительности мутации ослинника не были связаны с изменениями самих наследственных факторов.

Вскоре, однако, были изучены и настоящие мутации. Подобные явления уже давно были известны пастухам и фермерам, часто наблюдавшим появление уродств и всякого рода отклонений от нормального типа. Некоторые такие отклонения даже использовались в сельскохозяйственной практике. Например, мутация «коротконогости» овец появилась в Новой Англии в 1791 г. Короткие ноги не позволяли овцам перепрыгивать даже через очень низкую изгородь. Этих овец начали усиленно разводить и оберегать. Но пастухи, как правило, не делают теоретических выводов из своих наблюдений, а ученые, к сожалению, часто незнакомы с практическим скотоводством.

И только благодаря де Фрису эти явления наконец предстали перед научным миром. Около 1900 г., готовясь к опубликованию своих открытий и просматривая старые работы, посвященные этой проблеме, ученый, к своему удивлению, обнаружил статью Менделя тридцатилетней давности.

Независимо от де Фриса еще два ботаника — немец Карл Эрих Корренс (1864—1933) и австриец Эрих Чермак (род. в 1871 г.) — в один и тот же год пришли к весьма сходным выводам. И каждый из них, просматривая предшествующие работы, обнаружил статью Менделя.

Все трое, де Фрис, Корренс и Чермак, опубликовали свои работы в 1900 г., и каждый, ссылаясь на работу Менделя, оценивал свои исследования как простое подтверждение его выводов. Поэтому мы и говорим теперь о менделевских законах наследственности. Эти законы в сочетании с открытием де Фриса дают картину возникновения и сохранения вариаций. Так было устранено слабое место в теории Дарвина. А после того, как английский ученый Рональд Фишер (1890—1962) в своей книге «Генетическая теория естественного отбора» (1930) показал, что дарвиновская теория отбора и менделевская генетика должны быть сведены в единую теорию эволюции, были достигнуты заметные успехи. В позднейших работах англичанина Джулиана Хаксли (род. в 1887 г.) и американца Джорджа Гейлорда Симпсона (род. в 1902 г.) показано, что отбор — более важный фактор эволюционного процесса, чем мутации.

Хромосомы

К 1900 г. менделевские законы приобретают гораздо большее значение в связи с новыми важными открытиями в области изучения клеток.

В XVIII и в начале XIX столетий немного можно было разглядеть в клетке, даже пользуясь усовершенствованным микроскопом. Клетка представляет собой довольно прозрачное тело и при наблюдениях имела вид более или менее резко очерченной капли. Биологам приходилось довольствоваться описанием ее внешней формы и размеров. Правда, иногда удавалось разглядеть в центре клетки несколько более плотное тело (теперь его называют клеточным ядром). В 1831 г. шотландский ботаник Роберт Браун (1773—1858) впервые предположил, что оно обязательно для каждой клетки.

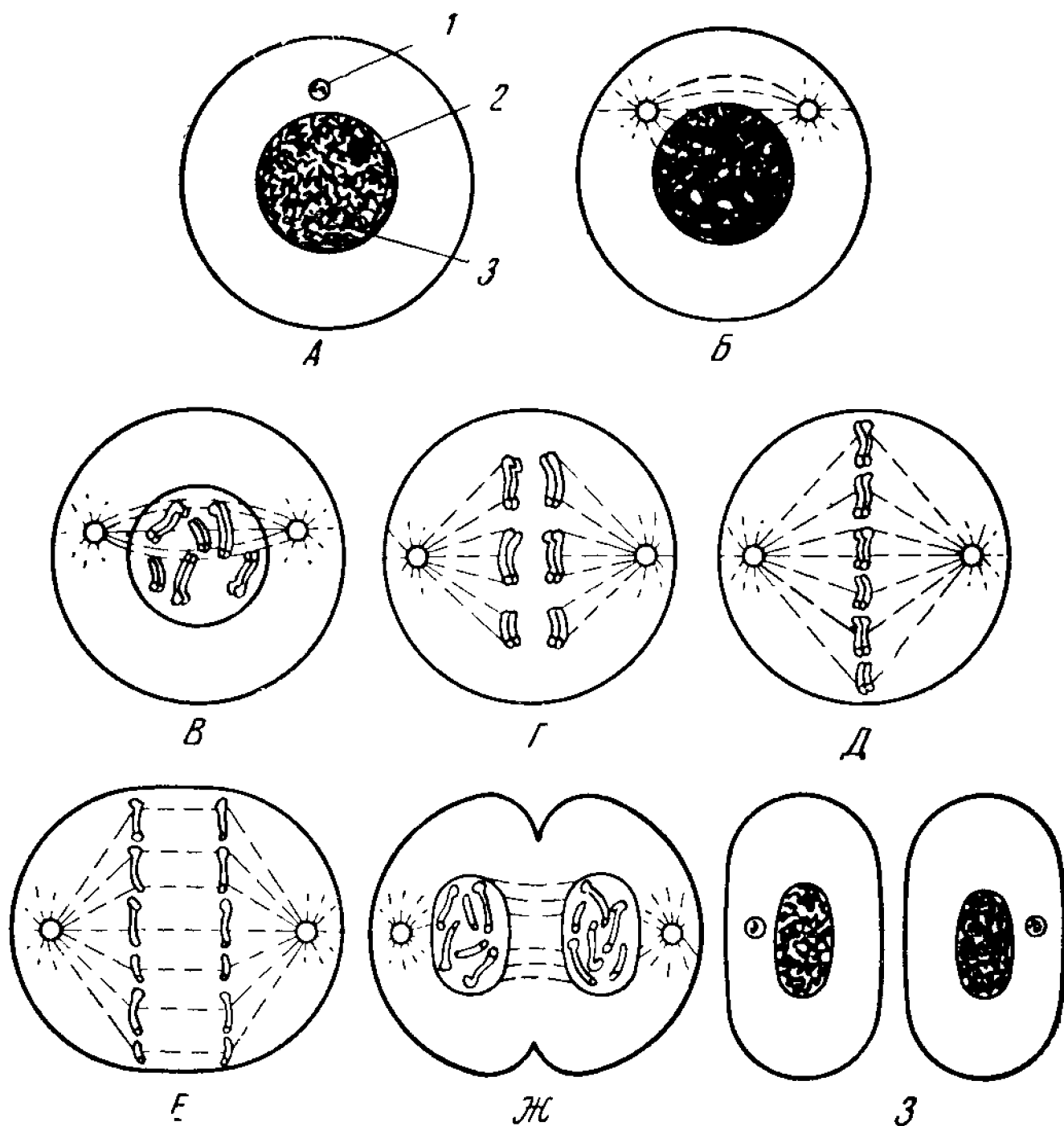
Семью годами позднее Шлейден в своей клеточной теории отводит ядру клетки весьма серьезную роль. Он связывает его с клеточным размножением, считая, что новые клетки отпочковываются от поверхности ядра. К 1846 г. Негели удалось доказать, что это неверно. Однако интуиция лишь частично подвела Шлейдена: ядро действительно связано с размножением клетки. Но исследование роли ядра требовало новой техники, которая позволила бы заглянуть внутрь клетки.

Такую технику принесла органическая химия. Вслед за Бертло химики-органики быстро научились изготавливать органические вещества, не существующие в природе, — многие из них обладали яркой окраской. С 50-х годов XIX в. начался бурный рост производства синтетических красителей.

Если считать содержимое клетки неоднородным, можно предположить, что отдельные ее части будут по-разному реагировать с различными химическими веществами. В результате обработки красителями некоторые части клетки окрасятся, а другие останутся бесцветными. Невидимые до тех пор детали благодаря окраске станут доступными наблюдению.

Можно рассказать о многих биологах, экспериментировавших в этом направлении, но наиболее выдающихся успехов достиг немецкий цитолог Вальтер Флемминг (1843—1905). Он исследовал тонкое строение клетки животных и с помощью разработанных им методов фиксации и окраски обнаружил, что частицы, разбросанные внутри клеточного ядра, представляют собой образования, которые хорошо абсорбируют краситель, отчетливо выделяясь на бесцветном фоне. Флемминг назвал содержимое этих окрашивающихся частиц хроматином (от греческого *chrōma* — окраска).

Обрабатывая срезы растущей ткани, Флемминг, конечно, убивал клетки, причем каждая из них фиксировалась на той или иной стадии процесса деления. В 70-х годах XIX в. Флеммингу удалось выявить картину изменений хроматинового материала на всех этапах клеточного деления. Он обнаружил, что в начале процесса хроматиновый материал сливается, формируя короткие нитевидные образования, которые впослед-



Р и с. 4. Митоз в клетке гипотетического животного.

А — стадия покоя; Б — ранняя профаза (центриоль разделилась, появляются хромосомы); В — более поздняя профаза (хромосомы раздвоились, но еще остаются связанными); Г — поздняя профаза (ядерная оболочка растворилась, имеется веретено); Д — метафаза (хромосомы расположились по экватору веретена); Е — анафаза (хромосомы движутся к полюсам); Ж — телофаза (образовались ядерные оболочки, хромосомы удлиняются, начинается деление цитоплазмы); З — дочерние клетки (стадия покоя). 1 — центриоль; 2 — ядрышко; 3 — хроматин.

ствии получили название хромосом (от греческих *chrōma* — окраска, *soma* — тело). Поскольку эти нитевидные хромосомы были типичны для процесса деления клетки, Флемминг назвал весь процесс митозом (от греческого *mitos* — нить). В клетке имеется небольшое тельце, носящее название центриоль, — оно напоминает звезду с расходящимися во все стороны лучами. Центриоль делится на две части, которые расходятся к противоположным концам клетки. Тонкие

лучи, идущие от одной центриоли к другой, как бы опутывают хромосомы, группирующиеся в плоскости, проходящей через центр клетки.

Критический момент клеточного деления наступает, когда хромосома воссоздает свою собственную копию. Сдвоенные хромосомы растягиваются в противоположные стороны: одна хромосома каждой пары — в один конец клетки, другая — в другой; после этого клетка делится — в центре образуется перегородка. Каждая из двух новых дочерних клеток благодаря удвоению хромосом содержит такое же количество хроматина, какое было в исходной материнской клетке. Эти наблюдения Флемминг опубликовал в 1882 г.

В 1887 г. бельгийский цитолог Эдуард ван Бенеден (1846—1910) наглядно показал две важные особенности хромосом. Во-первых, число хромосом в различных клетках организма постоянно, то есть каждый вид характеризуется определенным хромосомным набором (например, каждая клетка человека имеет 46 хромосом). Во-вторых, при образовании половых клеток — яйцеклетки и сперматозоида — в одном из делений не происходит удвоения хромосом. Следовательно, каждое яйцо и сперматозоид получают только половину типичного для вида количества хромосом.

Второе рождение менделевского закона заставило по-новому взглянуть на исследования хромосом. В 1902 г. американский цитолог Уолтер Саттон (1876—1916) обратил внимание на то, что хромосомы ведут себя подобно менделевским наследственным «факторам»: каждая клетка имеет постоянное число пар хромосом. Они, видимо, несут в себе способность передавать физические признаки от клетки к клетке, так как в каждом клеточном делении число хромосом строго сохраняется; каждая хромосома создает копию (реплику) самой себя для использования ее в новой клетке.

В оплодотворенной яйцеклетке, образовавшейся от слияния яйца и сперматозоида, восстанавливается прежнее число хромосом. При прохождении последовательных стадий деления в оплодотворенной яйцеклетке число хромосом опять строго сохраняется вплоть до образования самостоятельно живущего ор-

ганизма. Однако не следует забывать, что в новом организме одна хромосома из каждой пары получена от матери (через яйцеклетку), а другая — от отца (через сперматозоид). Это перемешивание хромосом, происходящее в каждом поколении, может вывести на свет рецессивные признаки, ранее подавленные доминантными. Новые комбинации в дальнейшем создают все новые вариации признаков, которые и «подхватываются» естественным отбором.

Казалось, на заре XX столетия наступил небывалый расцвет эволюционного учения и генетики, но это было лишь прелюдией к новым, еще более поразительным достижениям.

Азот и диета

Дарвиновская теория эволюции, казалось бы, могла послужить основой стройного мировоззрения. Однако, если взглянуть внимательнее, она еще больше подчеркнула таинственность жизни. С самого возникновения живое, преодолевая противодействие среды, неудержимо стремится к все большей сложности и производительности. В этом живое никак нельзя сравнить со стабильной неживой природой. Вновь образующиеся горы являются лишь повторением тех, что существовали в другие эпохи; жизненные формы, возникающие в процессе эволюции, всегда новы, всегда отличаются от предшествовавших. Таким образом, теория Дарвина на первый взгляд как бы подтверждала представление виталистов об огромном барьере между живым и неживым. Витализм вновь стал популярен во второй половине XIX в.

В XIX в. главным вызовом витализму были достижения химиков-органиков. Оборону против этого натиска виталисты пытались строить на молекуле белка и почти до конца века довольно успешно защищали свои позиции.

Молекула белка чрезвычайно занимала биохимиков. Огромное значение белка в жизни организмов впервые показал французский физиолог Франсуа Мажанди (1783—1855). Нехватка пищевых ресурсов, небывалое ухудшение жизни народов после наполеоновских войн привели к тому, что правительства ряда стран создали комиссию под руководством Мажанди для исследования вопроса, возможно ли получить полноценную пищу из чего-либо дешевого и доступного, вроде желатина. В опытах Мажанди (1816) с кормлением собак пищей, в которой отсутствовал белок (диета состояла из сахара, оливкового масла и воды),

животные погибали от голода. Выяснилось, что одних калорий недостаточно и белок — необходимый компонент пищи. Далее обнаружилось, что не все белки одинаково полезны: если желатин был единственным белком в рационе, собаки все же погибали. Эти работы положили начало современной *диететике* — науке о питании и его действии на организм.

Белки в отличие от углеводов и жиров содержат азот. Поэтому внимание ученых сосредоточилось на азоте, как на необходимой составной части живого организма. В 40-х годах XIX в. французский химик Жан Батист Буссенго (1802—1887), изучая потребность растений в азоте, нашел, что некоторые растения, например бобовые, не только прекрасно растут на почве, не содержащей азота, но и заметно увеличивают его содержание в организме. Буссенго предположил, что растения берут азот из воздуха. Теперь мы знаем, что азот из воздуха поглощают не сами растения, а определенные азотфиксирующие бактерии, живущие в особых клубеньках на корнях растений. Буссенго своими дальнейшими опытами доказал, что животные не могут усваивать азот из воздуха, а получают его только с пищей. Уточнив в деталях исследования Мажанди, которые носили скорее качественный, чем количественный, характер, Буссенго подсчитал содержание азота в пище и показал прямую зависимость скорости роста организма от количества усваиваемого азота. Он заключил, что наиболее богатые азотом корма самые ценные. Однако при одинаковом содержании азота одна пища оказывалась более эффективной для роста, чем другая. Отсюда было сделано единственно возможное заключение: ценность белков в питательном отношении различна. Причина этого отличия оставалась неясной до конца века. К 1844 г. Буссенго чисто эмпирически определил относительную ценность различной пищи в зависимости от содержания белка.

В последующем десятилетии исследования Буссенго продолжал немецкий химик Юстус Либих (1803—1873), который детально разработал учение о полноценности пищи. Либих был сторонником материализма и с этих позиций подошел к разрешению проблем сельского хозяйства. Он полагал, что причиной падения

плодородия почвы, использовавшейся в течение ряда лет, является ее постепенное обеднение минеральными солями. Растения должны поглощать из растворимых соединений почвы необходимые для роста небольшие количества натрия, калия, кальция и фосфора. С незапамятных времен для поддержания плодородия почвы в нее вносили навоз. Но Либих не расценивал это как добавление чего-то «витального», он считал, что навоз дает почве лишь те неорганические вещества, которые были утрачены. А почему бы не вносить в почву чистые минеральные вещества и таким образом избавиться от дурного запаха?

Либих был первым, кто способствовал широкому внедрению в земледелие минеральных удобрений. Вначале Либиха преследовали неудачи, так как он слишком полагался на данные Буссенго. Но когда он понял, что большинство растений получают азот из растворимых азотсодержащих соединений (нитратов) почвы, и ввел их в свои смеси, ему удалось получить весьма эффективные удобрения. Буссенго и Либих, таким образом, явились создателями *агрохимии*.

Калориметрия

Либих, как последовательный материалист, полагал, что углеводы и жиры служат топливом для организма. Это было явным прогрессом по сравнению со взглядами Лавуазье, жившего полстолетия назад. Если Лавуазье говорил только об углероде и водороде, теперь можно было говорить о более специфических соединениях — углеводах и жирах, состоящих из углерода и водорода (плюс кислород).

Естественно, воззрения Либиха побудили многих ученых попытаться определить, равно ли количественно тепло, полученное организмом от такого «топлива», теплу, получаемому при сжигании углеводов и жиров вне организма. Грубые опыты Лавуазье давали положительный ответ на этот вопрос. Однако значительное усовершенствование техники измерений требовало проверки данных. В 60-х годах XIX столетия Бертло для определения количества тепла, выделяемого при сжигании, использовал прибор калориметр. Сжигаемое вещество смешивали в закрытой камере с кисло-

родом и смесь взрывали, поджигая электричеством. Камера находилась в водяной бане. По повышению температуры воды и определялось количество выделившегося тепла.

Для определения количества тепла, образующегося в организме, надо было построить калориметр достаточно больших размеров, чтобы поместить в нём живой организм. По количеству выделяемой организмом углекислоты и потребляемого им кислорода можно рассчитать количество углеводов и жиров, которое сжигает организм. Тепло, выделяемое организмом, определяется измерением температуры окружающего калориметр водяного кожуха. Количество этого тепла сопоставляется с количеством тепла, которое можно получить от сгорания того же количества углеводов и жиров вне организма.

Немецкий физиолог Карл Фойт (1831—1908), ученик Либиха, вместе с немецким гигиенистом Максом Петтенкофером (1818—1901) построили калориметр достаточно большой, чтобы помещать в него животных и даже человека. Результаты их экспериментов подтвердили, что у живых тканей нет других энергетических источников, кроме тех, которые имеются и в неживом мире. Ученик Фойта Макс Рубнер (1854—1932) продолжил исследования и экспериментально доказал приложимость закона сохранения энергии к организму животного. Сравнивая количество азота, содержащегося в моче и фекалиях, с количеством его в пище, которой кормили подопытных животных, он показал (1884), что углеводы и жиры не могут быть единственным топливом, поступающим в организм. Молекулы белка после отщепления азотсодержащей части также могут использоваться как топливо. Учитывая белок как источник энергии, Рубнер смог получить более точные данные. К 1894 г. он установил, что энергия, выделяемая пищевыми продуктами в организме, точно равна энергии, которую можно получить при сжигании этих продуктов вне организма (с учетом количества энергии, содержащейся в моче и фекалиях).

Итак, закон сохранения энергии справедлив как для неживого мира, так и для живого. Открытие этого

закона нанесло сокрушительный удар по виталистическим воззрениям.

Новые количественные методы нашли применение и в медицине. Немецкий физиолог Адольф Магнус-Леви (1865—1955) определил нижний уровень энергетического обмена у человека (темп основного обмена веществ — ООВ). Магнус-Леви нашел при этом значительные изменения ООВ при заболеваниях, связанных с щитовидной железой. С этого времени измерение ООВ стало важным методом диагностики.

Брожение

Успехи калориметрии во второй половине XIX в. не затронули, однако, самых основ витализма. И человек и скала, на которой он стоит, материальны. Но между формами этих материй — непреодолимая грань, отделяющая органическую материю от неорганической. Когда оказалось, что эта грань стирается, виталисты ухватились за белок. Кроме того, признав доступность для живого энергии неживого мира, они были убеждены, что методы использования этой энергии в корне отличны.

Так, горение вне организма сопровождается выделением большого количества тепла и света; процесс протекает стремительно. При сгорании пищи в организме образуется небольшое количество тепла и свет не выделяется. Температура организма в норме держится около $36,8^{\circ}$, горение протекает медленно и прекрасно регулируется. Когда химик пытается воспроизвести в лаборатории реакцию, характерную для живых тканей, он вынужден прибегать к сильнодействующим средствам — высокой температуре, электрическому току, сильным химическим реактивам, — в которых живые ткани не нуждаются.

Не в этом ли основное отличие живого от неживого? Либих считал, что это не так, и в качестве примера приводил брожение. С доисторических времён человечество сбраживало соки из фруктов и замачивало зерно для изготовления вина и пива. Люди использовали закваски, или дрожжи (как их чаще называют), для изготовления теста. Тесто поднималось,

в нем образовывались пузырьки. Хлеб получался мягким и вкусным.

В этот процесс вовлечены органические вещества. Сахар или крахмал превращается в спирт, а это напоминает реакции, протекающие в живых тканях. Однако при брожении не требуется сильнодействующих реактивов или других средств. Оно протекает при комнатной температуре в спокойном, медленном темпе. Либих видел в брожении чисто химический процесс, протекающий без участия некой «жизненной силы», и настаивал на том, что он подобен превращениям в живом организме, однако идет без участия живого.

Надо заметить, что еще со времен Левенгука было известно, что дрожжи состоят из шариков, не обнаруживающих признаков жизни. В 1836 и 1837 гг. биологам, в том числе Шванну, удалось заметить у дрожжей процесс почкования, приводящий к образованию новых шариков, что было явным признаком жизни. Биологи заговорили о дрожжевых клетках, однако Либих отверг эти представления.

В защиту живой природы дрожжей выступил французский ученый Луи Пастер (1822—1895). В 1856 г. французские виноделы пригласили его на консультацию. Вино и пиво при долгом хранении часто прокисали, принося миллионные убытки. Не могли бы химики помочь?

Пастер обнаружил довольно любопытную закономерность: хорошо сохранившиеся вино и пиво содержали крошечные круглые дрожжевые клетки. А если жидкость прокисала, дрожжевые клетки были удлинёнными. Итак, ясно: существует два типа дрожжей — образующие спирт и вызывающие медленное скисание вина. Слабое нагревание убивало дрожжевые клетки и останавливало процесс. Если это делать в нужный момент, после того как спирт уже образовался, но скисание еще не началось, вино можно сохранить. Практика подтвердила выводы Пастера.

При изучении этого процесса Пастер выяснил два момента. Первый: дрожжевые клетки — живые организмы, поскольку слабое нагревание разрушает их способность вызывать брожение; клетки остаются, они не разрушаются, но в них убита жизнь. Второй: только

живые дрожжевые клетки вызывают брожение. Спор между Пастером и Либихом закончился полной победой Пастера и витализма.

Вслед за этим Пастер поставил свой знаменитый опыт по самопроизвольному зарождению — теме, укреплявшей позиции витализма еще со времен Спалланцани. Религиозные лидеры, разумеется, приветствовали опровержение теории самопроизвольного зарождения, поскольку зарождение жизни на Земле можно было приписать только богу. Как раз материалисты середины XIX в. горячо отстаивали идею самопроизвольного зарождения. Спалланцани показал, что, если стерилизовать мясной бульон и изолировать его от загрязнений, в нем не появится никаких форм жизни. На этом строился вывод: тепло разрушило всякое жизненное начало в воздухе герметически закрытого сосуда.

Пастер поставил опыт (1860) так, чтобы обычный ненагретый воздух не был изолирован от мясного бульона: кипяченый и простерилизованный бульон он оставил открытым в комнатной атмосфере. Бульон находился в колбе с длинной вытянутой горловиной, профиль которой напоминал лежащую на боку букву S. Ненагретый воздух свободно проникал в колбу, а загрязняющие частицы оседали на дне этой S-образной горловины и не попадали в колбу. При таких условиях организмы в мясном бульоне не размножались, но, если горловину удаляли, быстро наступало загрязнение. Таким образом, отпал вопрос о нагретом и ненагретом воздухе, о «жизненном начале», разрушенном и неразрушенном. Суть дела заключалась в том, что в бульон попадала пыль, частично состоящая из взвешенных в воздухе микроорганизмов, которые росли и размножались в бульоне.

В 50-х годах XIX в. немецкий врач Рудольф Вирхов, которого считают основоположником современной *патологической анатомии*, науки об изменении тканей в результате болезни, продолжил исследования. Он изучал пораженные болезнью ткани и доказал применимость клеточной теории к тканям как здорового, так и больного организма. Клетки тканей, пораженных болезнью, происходят от нормальных клеток здоровых тканей. При этом не наблюдается какого-либо

нарушения преемственности, скажем возникновения ненормальных клеток из неизвестного начала. В 1855 г. Вирхов сформулировал основное положение своей клеточной теории: «Всякая клетка происходит из клетки путем деления».

Таким образом, Вирхов и Пастер совершенно ясно показали, что каждая клетка, будь то самостоятельный организм или часть многоклеточного, произошла от ранее существовавшей клетки. Никогда еще живое не казалось столь четко и необратимо отграниченным от неживого. Никогда еще позиции витализма не казались столь прочными.

Ферменты

Если в живом организме происходят химические превращения, которые не могут осуществляться в неживой природе, они должны совершаться с помощью каких-то материальных средств (в XIX в. уже трудно было сослаться на сверхъестественное). Природа этих материальных средств постепенно прояснялась.

Еще в XVIII в. химики обнаружили, что реакцию иногда можно ускорить введением веществ, которые, по всей видимости, не принимают в ней участия. В начале XIX в. эти наблюдения привлекают особое внимание. В 1811 г. русский химик Константин Сигизмундович Кирхгоф (1764—1833) показал, что крахмал, прокипяченный с раствором кислоты, расщепляется до простого сахара — глюкозы, чего не происходит в отсутствие кислоты. Кислота, казалось, не принимала участия в реакции, так как не расходовалась в процессе расщепления.

В 1817 г. английский химик Гемфри Дэви (1778—1829) открыл способность паров спирта и эфира окисляться на платине при комнатной температуре. Платина, конечно, не участвовала в реакции.

Эти и другие примеры привлекли внимание Берцелиуса, и он назвал (1835) явление ускорения реакции в присутствии веществ, остающихся в конце реакции неизменными, катализом (от греческого *katalysis* — растворение, распад), что, вероятно, относилось к процессу расщепления крахмала, катализируемого кислотой.

Спирт обычно горит в кислороде, только будучи нагретым до высокой температуры, при которой воспламеняются его пары. В присутствии платинового катализатора эта реакция протекает без предварительного нагревания. Казалось вероятным, что химические процессы в живых тканях могут протекать при очень мягких условиях, потому что в тканях присутствуют различные катализаторы, которых не существует в неживой природе.

Действительно, в 1833 г., незадолго до работ Берцелиуса, французский химик Ансельм Пэйян (1795—1871) экстрагировал из проросшего ячменя вещество, которое расщепляло крахмал до сахара даже быстрее, чем кислота. Он назвал это вещество диастазой. Диастаза и другие подобные вещества были названы ферментами, поскольку превращение крахмала в сахар является одним из первичных этапов ферментации зерна.

Вскоре были выделены ферменты и из животных организмов. В числе первых был фермент желудочного сока. Еще Реомюр установил, что переваривание пищи — химический процесс. А в 1824 г. английский врач Уильям Праут (1785—1850) выделил из желудочного сока соляную кислоту. Соляная кислота — чисто неорганическое вещество, поэтому ее выделение было неожиданным для химиков. В 1836 г. Шванн, один из основателей клеточной теории, получил экстракт желудочного сока, не содержащий соляной кислоты и значительно интенсивнее, чем кислота, разлагающий мясо. Это вещество, которое Шванн назвал пепсином (от греческого *pepsis* — пищеварение), было истинным ферментом.

Список открываемых ферментов расширялся. Уже во второй половине XIX в. стало совершенно ясно, что ферменты являются катализаторами, только если речь идет о живых тканях; благодаря им организм осуществляет то, что недоступно экспериментатору. Итак, белки продолжали оставаться щитом для виталистов, так как много данных свидетельствовало о белковой природе ферментов (хотя до XX в. это и не было точно доказано). Однако в позиции виталистов обнаружилось слабое место: ферменты действовали как внутри клетки, так и вне ее. Ферменты, выделенные

из желудочного сока, производили расщепление пищи в пробирке. Казалось, если бы удалось создать образцы всех ферментов, можно было бы воспроизвести в пробирке любую реакцию, протекающую в живом организме, без вмешательства живого, поскольку ферменты сами по себе (по крайней мере изученные) не являются живыми. Более того, они подчиняются тем же законам, что и неорганические катализаторы, такие, как кислоты или платина.

Виталисты вынуждены были признать, что ферменты желудочного сока продолжают свою деятельность вне клетки: ведь желудочный сок можно налить в пробирку. Однако, говорили они, есть и такие ферменты, которые проявляют активность, только находясь в клетке. Эти ферменты лежат вне компетенции химиков. Виталисты разделили ферменты на два класса: «неорганизованные», например пепсин, которые могли быть выделены из живой клетки и осуществляли свое каталитическое действие вне клеток, и «организованные», действие которых, как предполагалось, неотделимо от жизнедеятельности живых клеток.

Первую группу ферментов немецкий физиолог Вильгельм Кюне (1837—1900) в 1878 г. предложил называть энзимами (от греческих *en* — в, *zyme* — дрожжи). Для вторых было сохранено название ферменты.

В 1897 г. работы немецкого химика Эдуарда Бухнера (1860—1917) неожиданно подорвали виталистическую позицию. Отфильтровав перетертую до полного разрушения массу дрожжей, Бухнер получил свободный от живых клеток дрожжевой сок и, чтобы он не загрязнялся микробами, добавил в него концентрированный раствор сахара. Бухнер ожидал, что этот сок не будет обладать ферментативной способностью. Каково же было его удивление, когда он обнаружил, что сахар подвергается медленному брожению. Он ставил опыт за опытом, убивая дрожжевые клетки спиртом, — результат был один: мертвые клетки сбраживали сахар так же хорошо, как и живые.

К концу XIX в. стало совершенно ясно, что все ферменты, как «организованные», так и «неорганизованные», представляют собой мертвые вещества.

Выделенные из клеток, они с успехом действуют в пробирке. Название энзимы отнесли ко всем ферментам, признав, что в клетках нет особых химических веществ, которые могут проявлять свою активность только в присутствии какой-то «жизненной силы».

Категорическое заявление Пастера, что брожение не может осуществляться без живых организмов, оказалось применимым лишь к процессам, происходящим в природе. Человек сумел так искусно обработать дрожжевые клетки, что, убив и разрушив их, оставил нетронутыми содержащиеся в них ферменты, — теперь брожение стало возможным и вне живого организма. Витализм потерпел наиболее серьезное поражение, чем когда-либо, однако окончательный его разгром был впереди. Предстояло еще многое узнать о белковой молекуле, — а не обнаружится ли где-нибудь проявление «жизненной силы»? В частности, пока не было снято еще одно заявление Пастера (и Вирхова) — о возникновении клеток от клеток, — человек еще не мог сказать, что он постиг суть жизни.

И все-таки виталисты теряли под собой почву. Некоторые биологи продолжали туманно говорить о каких-то проявлениях «жизненной силы» (и говорят об этом по сей день), но никто уже не принимает этого всерьез. Общепризнано, что жизнь подчинена законам, управляющим неживым миром, что в биологии не существует проблемы, которую нельзя было бы разрешить в лабораторных условиях, и нет такого жизненного процесса, который нельзя было бы воспроизвести вне живого организма.

Материалистическая точка зрения стала господствующей.

Вакцинация

Вспоминая горячие дебаты по вопросам эволюции и витализма, мы не должны забывать, что интерес людей к теоретической биологии возник в результате усиленных занятий медициной, настойчивого изучения функциональных нарушений в организме. Как бы быстро ни развивалась биологическая наука в теоретическом отношении, как бы далеко она ни отошла от повседневных нужд практики, все равно рано или поздно она должна была вернуться к запросам медицины.

Изучение теории отнюдь не является чем-то отвлеченным и неоправданным, так как внедрение достижений теоретической науки позволяет практике быстро двигаться вперед. И хотя прикладная наука может развиваться чисто эмпирически, без теории это развитие идет гораздо медленнее и неувереннее.

В качестве примера вспомним историю изучения инфекционных заболеваний. Вплоть до начала XIX в. врачи, по сути дела, были совершенно беспомощны во время эпидемий чумы или других инфекционных болезней, время от времени вспыхивавших на нашей планете. К заболеваниям, от которых страдало человечество, относится и оспа. Трагично было то, что она распространялась, как настоящее стихийное бедствие, каждый третий из заболевших погибал, а выжившие на всю жизнь оставались обезображенными: покрытые рябинами лица отталкивали даже близких.

Однако было замечено, что перенесенное заболевание обеспечивало иммунитет при следующей вспышке. Поэтому многие считали более целесообразным не избегать заболевания, а перенести его, но в очень слабой форме, которая не была бы опасна для жизни

и не обезображивала больного. В этом случае человек был бы гарантирован от повторных заболеваний. В таких странах, как Турция и Китай, уже давно пытались заражать людей содержимым пустул от больных легкой формой оспы. Риск был велик, так как порой болезнь протекала в очень тяжелой форме. В начале XVIII в. подобные прививки проводились и в Англии, но трудно сказать, приносили ли они больше пользы или вреда. Занимаясь практической врачебной деятельностью, англичанин Эдуард Дженнер (1749—1823) изучал известные в народной медицине предохранительные свойства коровьей оспы: люди, переболевшие ею, становятся иммунными как к коровьей, так и к человеческой оспе. После долгих и тщательных наблюдений 14 мая 1796 г. Дженнер впервые провел прививку коровьей оспы восьмилетнему мальчику, используя материал, взятый от женщины, болевшей коровьей оспой. Прививка сопровождалась недомоганием. А два месяца спустя мальчик был инфицирован гноем из пустулы больного натуральной оспой — и остался здоровым. В 1798 г., после многократного повторения этого опыта, Дженнер опубликовал результаты своей работы. Он предложил назвать новый метод вакцинацией (от латинского *vaccinia* — коровья оспа).

Страх перед оспой был так велик, что метод Дженнера приняли с восторгом, а сопротивление наиболее консервативных было быстро сломлено. Вакцинация распространилась по всей Европе, и болезнь отступила. В странах с высокоразвитой медициной врачи уже не чувствовали себя беспомощными в борьбе с оспой. В истории человечества это был первый случай быстрой и радикальной победы над опасной болезнью.

Но дальнейшие успехи могла принести только разработка теории. В то время никто не знал возбудителей инфекционных болезней, на использование в целях вакцинации легких форм рассчитывать не приходилось. Перед биологами встала задача научиться «изготавливать» свои собственные «варианты» легких форм болезни, но для этого требовалось знать гораздо больше, чем было известно во времена Дженнера.

Микробная теория болезней

Столь необходимая теория была разработана Пастером, который интересовался микроорганизмами в связи с работой над проблемой брожения. В 1865 г. шелководству Франции был нанесен огромный ущерб в результате массовой гибели шелковичных червей от какой-то болезни. За помощью обратились к Пастеру. И он обнаружил мельчайших паразитов, повреждающих шелковичных червей и загрязняющих листья тутового дерева, которыми питаются гусеницы. Заключение Пастера было суровым, но единственно верным: всех пораженных червей и зараженный корм уничтожить, выкормку начать заново, взяв здоровых червей и незараженный корм. Только неуклонное выполнение требований Пастера спасло шелководство Франции.

Пастеру было ясно: справедливое для одной инфекционной болезни справедливо и для другой. Болезнь вызывается микроорганизмами. Она может передаваться с кашлем, при чихании, поцелуях, через отбросы, зараженную пищу и воду. В каждом случае микроорганизм — возбудитель заболевания передается от больного человека здоровому. Сами врачи вследствие неизбежного контакта с больными могут быть первичными переносчиками инфекции.

Окончательный вывод сделал венгерский врач Игнац Филипп Земмельвейс (1818—1865). Еще не зная теории Пастера, он обратил внимание на то, что смертность от родильной горячки была очень высокой в больницах Вены и незначительной среди женщин, рожавших в домашних условиях, с помощью зачастую несведущих акушерок. У Земмельвейса возникла мысль, что заболевание переносят врачи и студенты, которые приходили в акушерскую клинику после работы в секционной (помещении для вскрытия трупов). Он решительно потребовал, чтобы врачи перед приемом родов тщательно мыли руки. Смертность сразу упала. Однако обиженные врачи добились его ухода из больницы, и смертность снова поднялась. Земмельвейс умер слишком рано, чтобы дожидаться признания.

По мере распространения микробной теории болезней положение мало-помалу менялось. Теперь все

поняли, почему необходимо мыть руки; наиболее консервативные врачи еще протестовали против «новой моды», но постепенно сдались и они. Во время франко-прусской войны Пастеру удалось убедить хирургов кипятить перед операцией инструменты и обрабатывать паром перевязочный материал.

Одновременно в Англии хирург Джозеф Листер (1827—1912) реформирует хирургию, в частности вводит в практику анестезию. Больной, вдыхая смесь эфира и воздуха, погружался в сон и переставал чувствовать боль. Врачи получили наконец возможность проводить операции и удалять зубы, не причиняя мучений своим пациентам. Хотя изобретение анестезии подготовлено работами многих врачей, наибольшей считают заслугу американского зубного врача Уильяма Томаса Грина Мортон (1819—1868), который в октябре 1846 г. удалил опухоль на лице под эфирным наркозом. Успешное применение анестезии привело к тому, что этот метод быстро вошел в хирургическую практику. Огорчало одно: даже при безболезненном и удачном исходе операции больной нередко умирал от послеоперационной инфекции. Когда Листер узнал о теории Пастера, у него возникла мысль, что, если бы рана или хирургический разрез были стерильными, инфекция не развивалась бы. Он попробовал применить для этой цели карболовую кислоту (фенол) и вскоре убедился, что ее действие весьма эффективно. Так Листер основал антисептическую хирургию.

В дальнейшем для этой цели были найдены менее раздражающие и более действенные химические вещества. Хирурги стали работать в масках и стерильных резиновых перчатках. Хирургия стала наконец безопасной для человечества. Даже если бы теория Пастера дала одно это нововведение, ее и тогда можно было бы считать самым замечательным открытием в истории медицины.

Бактериология

Нельзя надеяться, что когда-нибудь удастся полностью изолировать людей от болезнетворных микробов. Рано или поздно человек подвергается риску за-

ражения. Как же лечить больного? Безусловно, у организма есть какие-то свои средства борьбы с микробами: ведь, как известно, иногда больной выздоравливает и без оказания ему помощи. Выдающемуся русскому биологу Илье Ильичу Мечникову (1845—1916) удалось показать на примере такую «антибактериальную борьбу» организма. Он показал, что лейкоциты выполняют функцию защиты от патогенных агентов, проникших в организм животных и человека: выходят из кровеносных сосудов и устремляются к месту внедрения инфекции, где разворачивается настоящая битва белых кровяных телец с бактериями. Клетки, осуществляющие защитную роль в организме, Мечников назвал фагоцитами.

Кроме того, выздоровление от многих болезней сопровождается выработкой иммунитета (невосприимчивости), хотя никаких видимых изменений и не обнаруживается. Это можно было бы довольно логично объяснить тем, что в организме переболевшего образуются антитела, обладающие способностью убивать либо нейтрализовать внедрившиеся микробы. Такое представление объясняет и действие вакцинации; в организме вакцинируемого образуются антитела, активные в отношении как микроба коровьей оспы, так и очень похожего на него микроба натуральной оспы. Теперь победа обеспечена, но уже не над самой болезнью, а над вызывающим ее микробом.

Пастер наметил пути борьбы с сибирской язвой, смертельной болезнью, которая уничтожала стада домашних животных. Он нашел возбудителя заболевания и доказал его принадлежность к особому виду бактерий. Пастер нагревал препарат из бактерий, чтобы уничтожить их способность вызывать болезнь (патогенность). Введение в организм животного ослабленных (аттенуированных) бактерий приводило к образованию антител, способных противостоять исходным патогенным бактериям.

В 1881 г. Пастер поставил чрезвычайно показательный опыт. Для эксперимента было взято стадо овец, одной части которых ввели ослабленных бактерий сибирской язвы, а другая осталась непривитой. Через некоторое время всех овец заразили патогенными штаммами. У привитых овец не было обнаружено

каких-либо признаков заболевания; непривитые овцы заболели сибирской язвой и погибли.

Сходные методы применял Пастер для борьбы с куриной холерой и, что особенно показательно, с одной из самых ужасных болезней — бешенством (или водобоязнью), передающимся человеку от зараженных диких или домашних животных.

Успех микробной теории Пастера возродил интерес к бактериям. Немецкий ботаник Фердинанд Юлиус Кон (1828—1898) изучал под микроскопом растительные клетки. Он показал, например, что протоплазмы растительной и животной клеток, в сущности, идентичны. В 60-х годах XIX столетия он обратился к изучению бактерий. Крупнейшей заслугой Кона было установление растительной природы бактерий. Он впервые четко отделил бактерии от простейших и попытался систематизировать бактерии по родам и видам. Это позволяет считать Кона основоположником современной *бактериологии*.

Кон первым заметил дарование молодого немецкого врача Роберта Коха (1843—1910). В 1876 г. Кох выделил бактерию, вызывающую сибирскую язву, и научился ее выращивать. Поддержка Кона, ознакомившегося с работой Коха, сыграла важную роль в жизни великого микробиолога. Кох культивировал бактерии на твердой среде — желатине (который позднее был заменен агаром, добываемым из морских водорослей), а не в жидкости, наливаемой в пробирки. Это техническое усовершенствование дало массу преимуществ. В жидкой среде бактерии различных видов легко смешиваются, и трудно установить, какая именно вызывает ту или иную болезнь. Если культуру нанести в виде мазка на твердую среду, отдельные бактерии, многократно делясь, образуют колонии новых клеток, строго фиксированные в своем положении. Даже если исходная культура состоит из смеси различных видов бактерий, каждая колония является чистой культурой клеток, что позволяет совершенно точно определить вид болезнетворных микробов. Сначала Кох наливал среду на плоский кусок стекла, но его ассистент Юлиус Рихард Петри (1852—1921) заменил стекло двумя плоскими мелкими стеклянными чашками, одна из которых служила крышкой. Чашки Петри

и сейчас широко применяются в бактериологии. Используя разработанный метод выделения чистых микробных культур, Кох и его сотрудники выделили возбудителей многих болезней, в том числе туберкулеза (1882).

Насекомые

Возбудителями инфекционных заболеваний являются не только бактерии. Недаром Пастер назвал свою теорию микробной: он имел в виду микробы вообще, а не только бактерии. Например, в 1880 г. французский врач Шарль Луи Альфонс Лаверан (1845—1922) открыл возбудителя малярии — заболевания, от которого в тропиках и субтропиках гибло больше людей, чем от какого-либо другого. Это открытие было особенно интересно тем, что возбудителем оказалась не бактерия, а простейшее, одноклеточное животное. В 60-х годах XIX в. немецкий зоолог Карл Фридрих Рудольф Лейкарт (1822—1898), изучая беспозвоночных, обратил внимание на тех из них, которые вели паразитический образ жизни. Работы Лейкарта заложили основы науки о паразитах — *паразитологии*. Лейкарт доказал, что все типы беспозвоночных имеют паразитов. Некоторые из них живут в организме человека, а такие, как гельминты (сосальщики, круглые и ленточные черви) — животные далеко не микроскопических размеров, — вызывают серьезные заболевания. Затем было установлено, что даже те многоклеточные животные, которые не являются непосредственными возбудителями болезней, могут оказаться переносчиками инфекции. Малярия была первым заболеванием, переносчик которого был найден. Легко можно было показать, что малярия не распространяется при непосредственном контакте с больными. В 1897 г. английский врач Рональд Росс (1857—1932), изучавший комаров как предполагаемых переносчиков малярии, обнаружил малярийного паразита в комарах рода *Anopheles*.

Это открытие принесло огромную пользу, так как прояснило наиболее слабо изученное звено в цепи передачи инфекции. Оказалось, что, прежде чем попасть в организм человека, паразит должен пройти опреде-

ленные стадии развития в комаре. Отсюда вывод: для борьбы с малярией необходимо избавиться от комаров. Почему бы не спать под пологом, не пропускающим комаров? Почему бы не осушать болота? И именно там, где эти меры были широко проведены, случаи заболевания малярией стали реже.

Другой смертельной болезнью, которая на протяжении XVIII и XIX вв. периодически косила население восточного побережья Соединенных Штатов, была желтая лихорадка. Американский военный хирург Уолтер Рид (1851—1902) установил, что желтая лихорадка не передается при прямом контакте с больным, и на основе работы Росса предположил, что и в этом случае переносчиком является комар, но уже рода *Aedes*¹. Врачи, работавшие с Ридом, дали искушать себя комарам, которые насосались крови больных лихорадкой. Некоторые из них заболели, а один, молодой врач Джесс Уильям Лазир (1866—1900), умер от желтой лихорадки, пожертвовав собой ради блага человечества. Картина передачи заболевания была, таким образом, выявлена. Другой военный хирург, Уильям Кроуфорд Горгас (1854—1920), провел ряд мероприятий по борьбе с комарами для уничтожения желтой лихорадки в Гаване. Затем его перевели в Панаму, где Соединенные Штаты пытались осуществить то, что не удалось Франции, — построить канал. Высокая смертность строителей канала от желтой лихорадки была, пожалуй, страшнее технических трудностей. Горгас повел борьбу с комарами и пресек распространение заболевания.

¹ До Рида выдающийся кубинский врач Карлос Финлей (1833—1915) на основании экспериментальных исследований пришел к выводу о вирусной природе желтой лихорадки. Он доказал, что это заболевание не передается при прямом контакте с больным, и установил, что переносчиком вируса желтой лихорадки является комар *Aedes aegypti*. О результатах своих исследований Финлей сообщил в 1881 г. на Международной гигиенической конференции в Вашингтоне и в Академии наук Гаваны, а в 1894 г. — на Международном конгрессе по гигиене и демографии в Будапеште. Там же он предложил эффективную систему профилактических мероприятий. Комиссия во главе с Ридом, прибывшая в Гавану в 1900 г., после безрезультатных экспериментов обратилась к Финлею и в конце концов признала правильность его выводов, подтвердив их собственными экспериментами. — *Прим. ред.*

Оказалось, что комары были не единственными претендентами на роль главного злодея. В 1902 г. французского врача Шарля Жана Анри Николя (1866—1936) назначили директором Пастеровского института в Тунисе. Там он изучал опасное и высокоинфекционное заболевание — сыпной тиф. Николь обратил внимание на то, что болезнь, чрезвычайно заразная за пределами больницы, в больничных палатах быстро теряла свою инфекционность. Перед поступлением больные обязаны были снимать одежду и мыться в бане с мылом. Николь предположил, что источник инфекции гнездится где-то в одежде и удаляется с тела при мытье. Поставив ряд опытов на животных, ученый доказал, что заболевание передается только через укусы платяных вшей¹.

В 1906 г. американский патолог Говард Тэйлор Риккетс (1871—1910) установил, что пятнистая лихорадка Скалистых гор передается через укус клещей крупного рогатого скота.

Факторы питания

На протяжении последней трети прошлого века микробная теория владела умами большинства врачей, но находились и такие, которые придерживались иного мнения. Немецкий патолог Вирхов — самый знаменитый противник пастеровской теории — считал, что болезни вызываются скорее расстройством в самом организме, чем внешними агентами. Заслужой

¹ Наличие возбудителя сыпного тифа в крови больного было впервые доказано в 1876 г. русским исследователем Осипом Осиповичем Мочутковским в героическом опыте самозаражения кровью от сыпнотифозного больного. В 1878 г. русский ученый Григорий Николаевич Минх впервые высказал предположение о переносе возвратного и сыпного тифа с человека на человека при помощи кровососущих насекомых. Французские исследователи Неттер и Туано, анализируя вспышку сыпного тифа 1892—1893 гг. во Франции, высказали предположение о его распространении вшами. В 1908 г. русский ученый Николай Федорович Гамалея на основании эпидемиологических данных утверждал, что сыпной тиф заразен лишь при наличии вшей. Наконец, в 1909 г. Николь в опытах на обезьянах доказал, что платяная вошь является переносчиком сыпнотифозной инфекции, — *Прим. ред.*

Вирхова было то, что за несколько десятков лет работы в берлинском муниципалитете и национальных законодательных органах он добился таких серьезных улучшений в области гигиены, как очистка питьевой воды и создание эффективной системы обеззараживания сточных вод. В этой области очень много сделал и другой ученый — Петтенкофер. Он и Вирхов могут считаться основателями современной *социальной гигиены* (изучение профилактики заболеваний в человеческом обществе).

Подобные мероприятия, препятствующие распространению эпидемий, безусловно, были не менее важны, чем непосредственное воздействие на самих микробов.

Естественно, что забота о чистоте, которую проповедовал еще Гиппократ, сохранила свое значение и тогда, когда всем стала понятна роль микробов. Остались в силе и советы Гиппократа относительно необходимости полноценного и разнообразного питания, причем выяснилось их значение не только для поддержания здоровья вообще, но и как специфического метода профилактики некоторых заболеваний. Мысль о том, что неполноценное питание может быть причиной заболевания, считалась «старомодной» — ученые были увлечены микробами, — но ее подтверждали достаточно веские доказательства.

В эпоху великих географических открытий люди проводили долгие месяцы на борту кораблей, питаясь только теми продуктами, которые могли хорошо сохраняться, так как использование искусственного холода было еще не известно. Страшным бичом моряков была цинга. Шотландский врач Джеймс Линд (1716—1794) обратил внимание на то, что заболевания встречаются не только на борту кораблей, но и в осажденных городах и тюрьмах — повсюду, где питание однообразно. Может быть, болезнь вызывает отсутствие какого-либо продукта в пище? Линд попробовал разнообразить пищевой рацион моряков, больных цингой, и вскоре выявил целительное действие цитрусовых. Великий английский мореплаватель Джеймс Кук (1728—1779) ввел цитрусовые в рацион экипажа своих тихоокеанских экспедиций в 70-х годах XVIII в. В результате от цинги умер только один человек.

В 1795 г., во время войны с Францией, морякам британского флота начали давать лимонный сок, и не было отмечено ни одного случая заболевания цингой.

Однако такие чисто эмпирические достижения при отсутствии необходимых теоретических обоснований внедрялись очень медленно. В XIX в. главные открытия в области питания относились к выявлению роли белка. Было установлено, что одни белки, «полноценные», присутствуя в пищевом рационе, могут поддерживать жизнь, другие, «неполноценные», вроде желатина, не в состоянии делать этого. Объяснение пришло, лишь когда лучше узнали природу молекулы белка. В 1820 г., обработав кислотой сложную молекулу желатина, выделили из нее простую молекулу, которую называли глицином. Глицин принадлежит к классу аминокислот. Вначале предположили, что он и служит строительным блоком для белков, подобно тому как простой сахар, глюкоза, — кирпичиком, из которого строится крахмал. Однако к концу XIX в. выяснилась несостоятельность этой теории. Из самых различных белков были получены другие простые молекулы — все они, различаясь только деталями, принадлежали к классу аминокислот. Молекула белка оказалась построенной не из одной, а из целого ряда аминокислот. К 1900 г. были известны десятки различных аминокислотных «строительных блоков». Теперь уже не казалось невероятным, что белки различаются соотношением содержащихся в них аминокислот. Первым ученым, показавшим, что тот или иной белок может не иметь одной или нескольких аминокислот, играющих существенную роль в жизнедеятельности организма, был английский биохимик Фредерик Гауленд Гопкинс (1861—1947). В 1903 г. он открыл новую аминокислоту — триптофан — и разработал методы ее выявления. Зеин — белок, выделенный из кукурузы, — давал отрицательную реакцию и, следовательно, не содержал триптофана. Он оказался неполноценным белком, так как, будучи единственным белком в рационе, не обеспечивал жизнедеятельности организма. Но уже небольшая добавка триптофана позволяла продлить жизнь подопытных животных.

Последующие опыты, поставленные в первом десятилетии XX в., ясно показали, что некоторые аминокислоты синтезируются в организме млекопитающих из веществ, обычно находящихся в тканях. Однако часть аминокислот обязательно должна поступать с пищей. Отсутствие одной или нескольких таких «незаменимых» аминокислот и делает белок неполноценным, приводя к заболеванию, а иногда и смерти. Так было введено понятие о добавочных питательных факторах — соединениях, которые не могут синтезироваться в организме животных и человека и для обеспечения нормальной жизнедеятельности обязательно должны входить в пищу.

Строго говоря, аминокислоты не являются серьезной медицинской проблемой для специалистов диетологов. Нехватка аминокислот обычно возникает только при искусственном и однообразном питании. Естественная пища, даже если она не очень богата, доставляет организму достаточное разнообразие аминокислот.

Раз такая болезнь, как цинга, излечивается лимонным соком, разумно предположить, что лимонный сок снабжает организм каким-то недостающим пищевым фактором. Маловероятно, что им является аминокислота. И действительно, все известные биологам XIX в. составные части лимонного сока, взятые вместе или в отдельности, не могли вылечить цинги. Этим пищевым фактором должно было быть вещество, необходимое лишь в очень малых количествах и химически отличное от обычных компонентов пищи.

Обнаружить загадочное вещество оказалось не так уж трудно. После разработки учения о существенно важных для жизни аминокислотах были выявлены более тонкие пищевые факторы, нужные организму лишь в ничтожных количествах, но произошло это не в процессе изучения цинги.

Витамины

В 1886 г. голландского врача Кристиана Эйкмана (1858—1930) послали на Яву для борьбы с болезнью бери-бери. Были основания думать, что эта болезнь

возникает в результате неправильного питания. Японские моряки сильно страдали от бери-бери и перестали болеть, лишь когда в 80-х годах XIX столетия в их пищевой рацион, состоявший почти исключительно из риса и рыбы, ввели молоко и мясо. Эйкман, однако, будучи в плену микробной теории Пастера, был убежден, что бери-бери — бактериальная болезнь. Он привез с собой кур, надеясь заразить их микробами. Но все его попытки успеха не имели. Правда, в 1896 г. куры неожиданно заболели болезнью, похожей на бери-бери. Выясняя обстоятельства заболевания, ученый обнаружил, что именно перед вспышкой болезни кур кормили шлифованным рисом с больничного склада продуктов. Когда их перевели на прежний корм, наступило выздоровление. Постепенно Эйкман убедился, что эту болезнь можно вызывать и излечивать простым изменением рациона.

Вначале ученый не оценил истинного значения полученных данных. Он предположил, что в зернах риса содержится какой-то токсин, который нейтрализуется чем-то содержащимся в оболочке зерна, а так как при обдирке риса оболочку удаляют, то в шлифованном рисе остаются ненейтрализованные токсины. Но зачем создавать гипотезу о наличии двух неизвестных веществ, токсина и антитоксина, когда гораздо проще предположить, что существует какой-то пищевой фактор, нужный в ничтожных количествах? Такого мнения придерживались Гопкинс и американский биохимик Казимир Функ (род. в 1884 г.). Они высказали мысль, что не только бери-бери, но и такие заболевания, как цинга, пеллагра и рахит, объясняются отсутствием в пище ничтожнейших количеств определенных веществ¹.

Еще находясь под впечатлением, что эти вещества принадлежат к классу аминов, Функ предложил в 1912 г. называть их витаминами (амины жизни). Название прижилось и сохранилось поныне, хотя с тех

¹В 1880 г. русский ученый Николай Иванович Лунин (1853—1937) впервые в истории науки экспериментально доказал, что в молоке, помимо казеина, жира, молочного сахара и солей, содержатся и другие вещества, необходимые для поддержания жизни (впоследствии названные витаминами). — *Прим. ред.*

пор и выяснилось, что они никакого отношения к аминам не имеют.

Витаминная гипотеза Гопкинса — Функа была полностью сформулирована, и первая треть XX в. показала, что различные заболевания могут излечиваться назначением разумного рациона и режима питания. Например, американский врач Джозеф Гольдбергер (1874—1929) обнаружил (1915), что болезнь пеллагры, распространенная в южных штатах США, отнюдь не микробного происхождения. В самом деле, она вызывалась отсутствием какого-то витамина и исчезала, как только к рациону больных добавляли молоко. Вначале о витаминах было известно лишь то, что они способны предупреждать и лечить определенные заболевания. В 1913 г. американский биохимик Элмер Вернон Макколлум (род. в 1879 г.) предложил называть витамины буквами алфавита; так появились витамины А, В, С и D, а потом к ним добавили и витамины Е и К. Выяснилось, что пища, содержащая витамин В, в действительности содержит более одного фактора, способного воздействовать более чем на один симптомокомплекс. Биологи заговорили о витаминах В₁, В₂ и т. д.

Оказалось, что именно отсутствие витамина В₁ вызывало бери-бери, а отсутствие витамина В₂ — пеллагру. Отсутствие витамина С приводило к цинге (наличием небольших количеств витамина С в соке цитрусовых и объясняется их целительное действие, позволившее Линду вылечить цингу), отсутствие витамина D — к рахиту. Нехватка витамина А влияла на зрение и вызывала куриную слепоту. Недостаток витамина В₁₂ вызывал злокачественное малокровие. Таковы основные болезни, обуславливаемые витаминной недостаточностью. По мере накопления знаний о витаминах все эти болезни перестали быть серьезной медицинской проблемой. Уже с 30-х годов XX столетия стали выделять витамины в чистом виде и осуществлять их синтез.

Гипноз

Другой группой заболеваний, которые, несомненно, нельзя было объяснить с помощью микробной теории Пастера, были психические заболевания. Они с незапамятных времен внушали человечеству благоговейный ужас. Последователи Гиппократы относились к этим заболеваниям вполне разумно, но большинство врачей были во власти суеверий. По всей вероятности, именно верой в то, что умалишенные находятся под влиянием злых сил, можно объяснить ту ужасную жестокость по отношению к психически больным, которая существовала до XIX в.

Реформировал дело психиатрической помощи французский врач Филипп Пинель (1745—1826). Он считал безумие заболеванием психики, а не проявлением злых сил, и открыто отстаивал свои взгляды. В 1793 г., в самый разгар Великой французской буржуазной революции, вызвавшей огромные перемены в общественной атмосфере, началась реформа парижских больниц и Пинеля назначили главным врачом психиатрической больницы Bicêtre под Парижем. В то время положение психически больных в государственных больницах было крайне тяжелым: с ними обращались, как с дикими животными, заковывали в цепи, избивали, морили голодом. Первое, что сделал Пинель, — это снял оковы с несчастных и стал относиться к ним как к обыкновенным больным, нуждающимся в лечении и хорошем обращении. Однако новые идеи распространялись очень медленно.

Нарушение психики, даже не такое тяжелое, чтобы быть причиной госпитализации, нередко приводит к отчетливо выраженным соматическим проявлениям (так называемые психосоматические заболевания). Подобные проявления удастся ослабить, если больной

верит в лечение. Этим и объясняется, почему заклинания священника или колдуна иногда приносили определенную пользу.

«Изгнание духов» всегда было предметом забот теологии. В биологии этим занимался австрийский врач Франц Антон Месмер (1734—1815). Вначале Месмер применял в своей лечебной практике магниты. Но в дальнейшем он обнаружил, что лечение идет быстрее, если больной погружен в состояние транса и его внимание фиксировано на монотонных однообразных воздействиях. Он стал делать перед больным медленные, ритмические движения рукой — пассы, — используя, по его выражению, «животный магнетизм». Не приходится сомневаться в известном успехе такого метода (который даже сейчас называют месмеризмом). Благодаря ему психика разгружается от массы внешних раздражений и больной, сосредоточив все внимание на враче, становится более восприимчивым к внушениям. Первое время Месмера сопровождал огромный успех, особенно в Париже. Однако граничившая с шарлатанством мистика, которой он окружал свои методы, а также неудачные попытки лечить и не психосоматические заболевания постепенно привели к разочарованию, а потом и прямому недовольству не только больных, но и конкурирующих врачей, пользовавшихся общепринятыми методами лечения. Специально созданная комиссия вынесла отрицательное заключение, и Месмер вынужден был покинуть Париж и уехать в Швейцарию, где его ждала неизвестность.

Однако то ценное, что было в методе Месмера, продолжало жить. Через полвека английский хирург Джеймс Брэд (1795—1860) начал систематическое изучение месмеризма, который он назвал гипнозом (от греческого *hupnos* — сон). После опубликования Брэдом в 1842 г. научного обоснования гипноза этот метод вошел в медицинскую практику. Родилась новая область медицины — *психиатрия*, задачей которой стало лечение психических заболеваний.

Психиатрия получила дальнейшее развитие в трудах австрийского врача Зигмунда Фрейда (1856—1939). В студенческие годы и на протяжении последующих нескольких лет Фрейд занимался изучением

нервной системы человека. Он первым обратил внимание на способность кокаина парализовать нервные окончания. Молодой врач Карл Коллер (1857—1944), работавший в той же больнице, что и Фрейд, использовал данные Фрейда и в 1884 г. успешно применил кокаин как анестезирующее средство при глазных операциях. Можно считать, что это было первое применение местной анестезии, при которой обезболивается определенный участок тела и исключается необходимость в общем наркозе для местной операции.

В 1885 г., находясь в Париже, Фрейд заинтересовался гипнозом как методом лечения психосоматических заболеваний. Вернувшись в Вену, он решил усовершенствовать этот метод. Фрейд считал, что психическая деятельность проходит на уровне как сознания, так и подсознания. Хотя тяжелые воспоминания, желания или страсти, которых человек стыдится, можно подавить, но при этом они переходят на уровень подсознания. Человек предпочитает «не знать» о существовании такого «хранилища», но оно способно влиять на его поступки и действия и вызывать те или иные физические проявления. Под гипнозом бессознательная деятельность проявляется свободно, пациент в этом состоянии говорит и на такие темы, о которых в нормальном состоянии предпочел бы умолчать. Однако в 90-х годах Фрейд заменяет гипноз таким общением врача с больным, которое позволяет последнему говорить о чем угодно при минимальном руководстве со стороны врача. Больной постепенно освобождается от застенчивости, и врач выявляет факты, которые в обычных условиях тщательно скрываются даже от самого себя. Преимущество этого метода перед гипнозом заключается в том, что больной все время отдает себе отчет в происходящем и не нуждается в последующей информации о том, что он говорил. Как только вскрывается содержание подсознательной психики, реакции пациента перестают быть немотивированными и он получает возможность изменять их путем осознания выявленных теперь мотивов. Этот медленно проводимый анализ содержания психики был назван *психоанализом*.

Фрейд придавал огромное значение сновидениям, так как ему казалось, что они раскрывают содержание

подсознательного (хотя обычно и в сугубо символической форме) способом, который невозможен во время бодрствования. (Его книга «Толкование сновидений» опубликована в 1900 г.) Далее он считал, что сексуальное влечение в его различных проявлениях — наиболее важный источник побуждений, даже у детей. Этот последний взгляд вызвал много возражений среди специалистов и широких кругов читателей.

С 1902 г. вокруг Фрейда стали группироваться молодые ученые. Они не всегда и не вполне сходились с ним во взглядах, но непреклонный в своих воззрениях Фрейд никогда не шел на компромиссы. Некоторые из этих ученых, как, например, австрийский психиатр Альфред Адлер (1870—1937) и шведский психиатр Карл Густав Юнг (1875—1961), отошли от Фрейда и разработали собственные научные системы.

Нервы и головной мозг

Человеческая психика, однако, чрезвычайно сложна, так что вера в психиатрию остается в значительной степени делом индивидуальным. Различные школы отстаивают свои точки зрения, но слишком мало еще разработано объективных путей решения вопроса о том, кто же из них прав, а если говорить о дальнейшем прогрессе, то он наступит только тогда, когда основная наука о нервной системе — *неврология* — получит достаточное развитие.

Начало неврологии положил швейцарский физиолог Альбрехт фон Галлер (1708—1777), опубликовавший в 60-х годах XVIII в. восьмитомное руководство по физиологии человека. До него считалось, что нервы — это полые трубки, которые несут загадочный «дух», или флюид, подобно тому как вены — кровь. Однако Галлер отверг это мнение и предложил новое понимание нервной деятельности, исходя из данных эксперимента.

Например, он выяснил, что мышцы обладают «раздражимостью», то есть слабое возбуждение мышцы приводит к ее резкому сокращению. Слабое возбуждение нерва также приводит к резкому сокращению связанной с ним мышцы. Нерв более «раздражим»,

чем мышца, и Галлер делает вывод, что движениями мышц управляет в большей мере стимуляция нерва, чем непосредственное их раздражение.

Он показал также, что ткани сами по себе не воспринимают ощущений; пронизывающие их нервы несут импульсы, которые вызывают ощущения. Но все нервы ведут к головному или спинному мозгу — явное указание, что именно здесь находятся центры восприятия и ответного действия. Производя опыты со стимуляцией или повреждением различных участков головного мозга животных, Галлер наблюдал различные типы ответного действия.

Работы Галлера продолжил немецкий врач Франц Иосиф Галль (1758—1828), который в 1796 г. начал читать лекции по неврологии. Он показал, что нервы идут к серому веществу головного мозга. Белое вещество мозга Галль считал связующей субстанцией.

Подобно Галлеру, Галль предполагал, что определенные участки головного мозга управляют определенными участками тела. Он довел это положение до крайности, считая, что участки головного мозга контролируют не только чувствительные восприятия и специфические мышечные движения, но и все виды эмоций и свойства темперамента. Его последователи утверждали, что черты человека можно определить ощупыванием выпуклостей на черепе. Эти взгляды легли в основу псевдонауки — френологии.

Нелепости френологии заслонили тот факт, что в утверждениях Галля была доля правды — мысль о локализации функций в головном мозге. Это положение рационально изучал французский нейрохирург Поль Брока. Изучая тонкую структуру головного мозга, он показал (1861), что у больных, страдавших потерей речи, обнаруживаются повреждения определенного участка в верхнем отделе головного мозга, на третьей извилине левой лобной доли, которая до сих пор носит название извилины Брока.

К 1870 г. два немецких невролога, Густав Теодор Фрич (1838—1891) и Эдвард Гитциг (1838—1907), шагнули еще дальше. Прикасаясь электрическими иглами к мозгу живых собак, они нашли, что раздражение определенного участка вызывает определенное мышечное движение, и таким образом смогли, так ска-

зять, нанести карту тела на головной мозг. Им удалось показать, что левое полушарие головного мозга контролирует правую половину тела, а правое полушарие — левую.

Теперь уже не приходилось сомневаться, что головной мозг управляет деятельностью тела, причем делает это высокоспецифическим образом. Появилась надежда связать все психические функции с физиологией головного мозга. Но это превращало психику как бы в продолжение тела, а следовательно, и укрепляло материалистические представления.

Однако более основательным и реальным было применение к нервной системе клеточной теории. Биологи середины XIX в. обнаружили в головном и спинном мозге нервные клетки, но природа самих нервных волокон оставалась еще не раскрытой. Ясность в этот вопрос внес немецкий анатом Вильгельм Вальдейер (1836—1921). В 1891 г. он пришел к выводу, что нервные волокна представляют собой тонкие отростки нервных клеток и являются их существенной составной частью. Следовательно, нервная система состоит из нейронов — собственно нервных клеток со всеми их отростками. Такова суть нейронной теории. Далее Вальдейер показал, что хотя отростки отдельных нейронов и могут значительно приближаться друг к другу, но в местах соединений нейронов имеется только контакт, соприкосновение нервных субстанций, а не слияние их. Зона межнейронных соединений позже получила название синапса.

Прочную основу нейронной теории заложили работы итальянского цитолога Камилло Гольджи (1844—1926) и испанского невролога Сантьяго Рамон-и-Кахаля (1852—1934). В 1873 г. Гольджи применил для окраски клеток особый краситель, содержащий соли серебра. Пользуясь им, он обнаружил внутриклеточные образования (аппарат Гольджи), функции которых до сих пор не известны.

Гольджи использовал свой метод окраски и для изучения нервной ткани. Ученому удалось рассмотреть неизвестные прежде детали, обнаружить тонкие отростки нервных клеток и отчетливо увидеть синапсы. Тем не менее, когда Вальдейер выступил с нейронной теорией, Гольджи не принял ее.

Однако Рамон-и-Кахаль решительно поддержал нейронную теорию. Пользуясь улучшенной модификацией метода окраски, он очень много сделал для укрепления этой теории. Ему принадлежат классические работы о строении сетчатки глаза, спинного мозга, мозжечка и других частей нервной системы.

Поведение

Нейронная теория оказалась чрезвычайно полезной для разработки проблемы поведения животных. Еще в 1730 г. Стивен Гейлс обнаружил, что обезглавленная лягушка при уколе кожи отдергивает лапку. В этом случае тело реагирует механически, головной мозг отключен. Так было положено начало изучению более или менее автоматической рефлекторной деятельности, при которой ответная реакция наступает без участия воли, следуя в соответствии с некой установленной схемой точно за раздражением.

И человек не свободен от такой автоматической деятельности. Удар чуть ниже коленной чашечки вызывает хорошо всем знакомое резкое движение колена. При случайном прикосновении к горячему предмету человек отдергивает руку, даже если он знал, что предмет горяч.

Английский физиолог Чарлз Скотт Шеррингтон (1859—1952), изучая рефлекторную деятельность, заложил основы *нейрофизиологии*. Подобно тому как ранее Гольджи, предложив свой метод окраски клеток, дал толчок развитию *нейроанатомии*, Шеррингтон обнаружил рефлекторную дугу, представляющую собой комплекс по крайней мере двух, а часто и более чем двух нейронов. Ощущение, возникшее в определенном месте, посылает импульс по нерву, через синапс и затем через обратный нейрон к мышце или железе, стимулируя сокращение или секрецию. Проходит ли раздражение органа чувств и стимулирование мышцы через один или большее число промежуточных нейронов, не имеет принципиального значения.

Возникло представление, будто через одни синапсы импульсы проходят легче, чем через другие. Так, существуют особые рефлекторные пути, которые

сравнительно легко проходят через сложную сеть переплетающихся нейронов.

Позднее предположили, что один рефлекторный путь может открыть дорогу другому, иными словами, ответ на одно рефлекторное действие становится стимулом для второго рефлекса, который в свою очередь вызывает новое ответное действие, а оно является стимулом для третьего рефлекса и так далее. Целый ряд рефлексов составляет более или менее полный комплекс поведения, который мы называем инстинктом.

Но даже такой относительно маленький и простой организм, как, например, насекомое, представляет собой нечто большее, чем просто сумма инстинктов. Поскольку нервные связи довольно легко передаются по наследству, то и инстинкты наследуются и проявляются с самого рождения. Так, паук прядет паутину, хотя он никогда не видел ее; больше того, каждый вид паука создает паутину, характерную для данного вида.

Млекопитающие (и, в частности, человек) относительно бедны инстинктами, но обладают способностью к обучению, приобретая на основе опыта новые формы поведения. Несмотря на то что систематическое изучение такого поведения с точки зрения нейронной теории и представляет трудности, его можно анализировать чисто эмпирически.

Применение количественных измерений к человеческой психике (по крайней мере к способности воспринимать окружающие раздражения) началось с работ немецкого физиолога Эрнста Генриха Вебера (1795—1878). В 30-х годах XIX в. он нашел, что оценка подопытным человеком различий между двумя ощущениями одного и того же типа находится в зависимости от логарифма интенсивности ощущений.

Предположим, что в комнате, освещенной одной свечой, будет зажжена вторая и мы получим дополнительное освещение, которое обозначим x . Вначале одной дополнительной свечи было достаточно, чтобы получить ощущение, что свет в комнате стал ярче на величину x ; чтобы ощутить дальнейшее повышение освещения на ту же величину x , требуется уже две свечи,

затем четыре, восемь и так далее. Вывод о логарифмической зависимости между воздействующим на органы чувств раздражителем и возникающим ощущением был сформулирован в 1860 г. немецким физиком Густавом Теодором Фехнером (1801—1887), и называют его законом Вебера — Фехнера. Так было положено начало *психофизике* — количественному изучению ощущений.

Учение о поведении в целом — *психология* — труднее всего поддается математическому выражению, но его можно обосновать экспериментально. Приоритет в этой области принадлежит немецкому физиологу Вильгельму Максу Вундту (1832—1920), создавшему в 1879 г. первую лабораторию экспериментальной психологии. Его исследования дали начало таким экспериментам, во время которых крысы должны были решать в лабиринте сложные задачи, а шимпанзе — придумывать, как добраться до недоступных бананов. Позднее такие эксперименты применили и к людям, предлагая им отвечать на специальные вопросы и решать задачи. На основе полученных ответов давалась оценка умственных способностей человека. В 1905 г. французский психолог Альфред Бине (1857—1912) предложил свой метод, основанный на определении коэффициента умственных способностей, или коэффициента интеллектуальности (КИ).

Значительно более фундаментальные исследования, непосредственно связывающие поведение с нервной системой, провел русский физиолог Иван Петрович Павлов (1849—1936), который на ранних этапах своей научной деятельности изучал нервную регуляцию секреции пищеварительных соков, а с начала нашего века — рефлексы вообще.

У голодной собаки при виде пищи выделяется слюна. Это целесообразный рефлекс, так как слюна необходима для смачивания и переваривания пищи. Если каждый раз, когда собаке показывают пищу, одновременно звенит звонок, то он прочно связывается с видом пищи; в конце концов слюна будет выделяться на звонок, даже если собака не видит пищи, то есть у нее выработается условный рефлекс. Павлов доказал, что подобным образом можно выработать любые рефлексы.

Другое направление в психологии — бихевиоризм — утверждает, что всякое обучение является, по существу, развитием условных рефлексов и, если можно так сказать, новых нервных связей. Наиболее известными представителями этой школы в ее крайнем выражении были американские психологи Джон Бродес Уотсон (1878—1958) и Баррус Фредерик Скиннер (род. в 1904 г.).

Бихевиоризм выражает крайне механистическое понимание психики, так как низводит все фазы психической деятельности до физических моделей сложного сплетения нервов. По общему мнению, такая постановка вопроса является упрощенчеством.

Изучение поведения, инстинктов и способности к обучению, проявляемой животными в природе, получило новое развитие в работах Конрада Лоренца (род. в 1903 г.) и Николааса Тинбергена (род. в 1907 г.), посвященных возникновению структур поведения и значению «пусковых» механизмов отдельных актов поведения. В итоге возникла новая отрасль биологии — *этология*, изучающая сложные формы поведения животных.

Нервные потенциалы

Мы говорим о нервной системе и импульсах, проходящих по ее путям. Но что представляют собой эти импульсы? Древняя доктрина о духе, протекающем по нервам, была вдребезги разбита Галлером и Галлем, но в 1791 г., когда итальянский физиолог Луиджи Гальвани (1737—1798) обнаружил, что мышцы препарированной лягушки могут сокращаться под влиянием электрического тока, она возродилась в новой форме. Гальвани объявил о существовании собственного, так называемого «животного» электричества мышцы.

В своей первоначальной формулировке эта мысль была неверной, но, соответственно видоизмененная, она дала плоды. Немецкий физиолог Эмиль Дюбуа-Реймон (1818—1896), еще будучи студентом, написал работу об электрических рыбах; с тех пор электрические явления в животных тканях стали предметом его научного интереса. С 1840 г. ученый приступил к усо-

вершенствованию старых приборов и изобрел новую, безупречную методику регистрации очень слабых электрических токов, проходящих по нерву и мышце. Он показал, что нервный импульс сопровождается изменениями в электрическом состоянии нерва. Нервный импульс по своей природе, по крайней мере частично, является электрическим, а электричество и есть тот тончайший флюид, который искали в нервах ученые, верившие в нервный «дух».

Электрические разряды пробегают не только по нерву, но и по мышце. В ритмически сокращающихся мышцах, как, например, в сердце, электрические изменения также ритмичны. В 1903 г. голландский физиолог Виллем Эйнтховен (1860—1927) сконструировал очень чувствительный струнный гальванометр, способный обнаруживать чрезвычайно слабые токи. Он использовал его для регистрации ритмически изменяющихся электрических потенциалов сердца, помещая на коже специальные электроды. К 1906 г. он установил, что по электрокардиограммам (ЭКГ), которые он получал, можно выявить различные виды нарушений работы сердца.

Сходные методы использовал в 1929 г. немецкий психиатр Ганс Бергер (1873—1941). Он прикреплял электроды к черепу и регистрировал ритмические изменения потенциалов, которые сопровождают мозговую деятельность¹. Электроэнцефалограммы (ЭЭГ) очень сложны и трудны для расшифровки. Однако при значительных повреждениях головного мозга, при наличии опухоли изменения выявить легко. Точно так же эпилепсия, считавшаяся «священной болезнью», может быть обнаружена по измененной ЭЭГ.

И все же открытие электрических потенциалов не дало исчерпывающего ответа на все вопросы. Электрический импульс, проходящий через нервное окончание, сам по себе не способен преодолеть синаптического разрыва между двумя нейронами и вызвать новый электрический импульс в следующем нейроне.

¹ До Бергера русский физиолог Владимир Владимирович Правдич-Неминский осуществил при помощи струнного гальванометра регистрацию электрических проявлений головного мозга и предложил в 1913 г. первую классификацию потенциалов электрической активности. — *Прим. ред.*

В 1921 г. австрийский физиолог Отто Леви (1873—1961) описал химическую передачу нервных импульсов. Нервный импульс наряду с электрическим включает в себя и химическое изменение. Химическое вещество, освобождающееся при возбуждении нерва, переходит через синаптический разрыв и таким образом передает нервное возбуждение. Английский физиолог Генри Холлет Дейл (род. в 1875 г.) отождествил это химическое вещество с соединением, называемым ацетилхолином. Позже были открыты и другие химические вещества, так или иначе связанные с нервной деятельностью. Некоторые из них могут вызывать симптомы психических расстройств.

Но все же *нейрохимия* пока находится на ранней стадии развития, хотя ей и суждено стать новым могучим средством изучения психической деятельности человека.

Гормоны

Как бы ни был велик успех нейронной теории, она не могла решить всех накопившихся к тому времени проблем. Электрические сигнализаторы, курсирующие по нервным путям, не могут считаться единственными регулирующими механизмами тела. Существуют также и химические сигнализаторы, проходящие по крови.

Так, в 1902 г. два английских физиолога, Эрнст Генри Старлинг (1866—1927) и Уильям Мэддок Бейлисс (1860—1924), обнаружили, что даже если перерезать все нервы, ведущие к поджелудочной железе, она все равно принимает сигналы: выделяет пищеварительный сок сразу, как только кислая пища из желудка попадает в кишечник. Оказалось, что слизистая оболочка тонких кишок под влиянием кислоты желудочного сока вырабатывает вещество, которое Старлинг и Бейлисс называли секретин. Именно секретин и стимулирует выделение сока поджелудочной железы. Старлинг предложил называть все вещества, выделяемые в кровь железами внутренней секреции и осуществляющие регуляцию функций органов, гормонами (от греческого *hormai* — возбуждать, побуждать).

Гормональная теория оказалась чрезвычайно плодотворной; было обнаружено, что большинство гормонов, циркулирующих с кровью в ничтожных, следовых концентрациях, очень тонко поддерживает строгое соотношение между химическими реакциями, иными словами, регулирует физиологические процессы в организме.

В 1901 г. американский химик Ёокихи Такаmine (1854—1922) выделил из мозговой части надпочечников активное вещество в кристаллическом виде

и назвал его адреналином. Это был первый выделенный гормон с установленной структурой.

Вскоре возникло предположение, что одним из процессов, регулируемых гормональной деятельностью, является основной обмен веществ. Магнус-Леви обратил внимание на связь между нарушениями основного обмена и заболеваниями щитовидной железы, а американский биохимик Эдвард Кэлвин Кендалл (род. в 1886 г.) в 1915 г. сумел выделить из щитовидной железы вещество, названное им тироксином. Оно действительно оказалось гормоном, небольшие количества которого регулируют основной обмен веществ.

Однако наиболее эффективными оказались результаты изучения сахарного диабета. Эта болезнь сопровождается сложными нарушениями обмена веществ, главным образом углеводного, что приводит к увеличению количества сахара в крови до ненормально высокого уровня. Организм выделяет избыток сахара с мочой; появление сахара в моче и является признаком начальной стадии диабета. До XX столетия это заболевание почти всегда приводило к смерти.

После того как в 1889 г. два немецких физиолога, Джозеф Меринг (1849—1908) и Оскар Минковский (1858—1931), удалив у подопытных животных поджелудочную железу, обнаружили быстрое развитие диабета, возникло предположение, что поджелудочная железа как-то ответственна за это заболевание. Исходя из гормональной концепции, выдвинутой Старлингом и Бейлиссом, логично было предположить, что поджелудочная железа выделяет гормон, регулирующий расщепление сахара в организме.

Однако попытки выделить гормон из поджелудочной железы потерпели неудачу. И это понятно, так как основная функция поджелудочной железы — выработка пищеварительных соков, содержащих большой запас расщепляющих белок ферментов. Поскольку гормон является белком (а это было доказано), он расщеплялся в процессе экстракции.

В 1920 г. у молодого канадского врача Фредерика Гранта Бантинга (1891—1941) возникла интересная идея: изолировать поджелудочную железу подопытных животных путем перевязки ее протока. По мне-

нию ученого, клетки железы, выделяющие пищеварительный сок, должны были бы дегенерировать, так как сок перестал бы вырабатываться, а участки, секретирующие гормон непосредственно в кровяное русло, продолжали бы действовать. В 1921 г. Бантинг организовал лабораторию в университете в Торонто и с помощью ассистента Чарлза Герберта Беста (род. в 1899 г.) приступил к опытам. Ему повезло: он получил в чистом виде гормон инсулин, который нашел широкое применение для лечения сахарного диабета. Хотя больной, в сущности, беспрерывно подвергается утомительному лечению, жизнь его вне опасности¹.

Вслед за инсулином были получены и другие гормоны. Немецкий химик Адольф Фридрих Бутенандт (род. в 1903 г.) в 1929 г. выделил из мочи беременных женщин и семенников половые гормоны, управляющие развитием вторичных половых признаков и влияющие на половой ритм у женщин.

Кендалл, открывший тироксин, и швейцарский химик Тадеуш Рейхштейн (род. в 1897 г.) выделили целую группу гормонов из внешнего, коркового, слоя надпочечников. В 1948 г. сотрудник Кендалла, Филипп Шоуолтер Хенч (род. в 1896 г.), обнаружил, что один из них, кортизон, оказывает целебное действие при ревматическом артрите. Позже он стал применяться и для лечения других болезней.

В 1924 г. аргентинский физиолог Бернардо Альберто Хуссей (род. в 1887 г.) доказал, что гипофиз, небольшая шаровидная железа внутренней секреции, которая лежит непосредственно под головным мозгом, каким-то образом влияет на расщепление сахара. Последующие исследования показали, что гипофиз выполняет и другие важные функции. Американский биохимик Чо Хао-ли (род. в 1913 г.) в 30—40-х годах выделил из гипофиза целый ряд различных гормонов.

¹ В основе примененного Бантингом метода получения инсулина лежали теоретические выводы, к которым пришел в 1901 г. русский ученый Леонид Васильевич Соболев. Соболев показал, что островки Лангерганса поджелудочной железы являются органом внутренней секреции, имеющим непосредственное отношение к углеводному обмену. Он указал пути для возможного получения действующего начала островков с целью рационального лечения сахарного диабета. — *Прим. ред.*

Одним из них, например, является «гормон роста», который регулирует рост организма. Если он поступает в кровь в избыточном количестве, вырастает великан, если его недостает — карлик. Наука, изучающая гормоны, — *эндокринология* — и в середине XX столетия остается чрезвычайно сложным, но зато и весьма плодотворным разделом биологии.

Серология

Функция распространения гормонов была лишь одним из новых свойств крови, открытых в конце XIX в. Являясь носителем антител, кровь выполняет роль защитника организма от инфекций. (Теперь трудно поверить, что полтора века назад врачи считали кровопускание лучшим способом помочь больному.) Использование защитных свойств крови против микроорганизмов получило развитие в работах двух помощников Коха, немецких бактериологов Эмиля Адольфа Беринга (1854—1917) и Пауля Эрлиха (1854—1915). Беринг открыл, что введение животным бактериальных культур стимулирует выработку в жидкой части крови (кровяной сыворотке) специфических антител. Если затем эту сыворотку ввести другому животному, оно, по крайней мере на какое-то время, будет невосприимчиво к данному заболеванию.

Беринг решил проверить свое открытие на дифтерии, заболевании, поражающем в основном детей и очень часто оканчивавшемся смертью. Если ребенок выживал после дифтерии, он становился невосприимчивым (иммунным) к этой болезни. Но зачем заставлять организм ребенка вырабатывать собственные антитела в борьбе с бактериальными токсинами? Почему бы не приготовить антитела в организме животного, а затем уже иммунную сыворотку ввести в организм больного ребенка? Применение антитоксической сыворотки во время эпидемии дифтерии в 1892 г. резко сократило детскую смертность.

Свой эксперимент Беринг проводил при участии Эрлиха, который, по-видимому, разработал конкретную дозировку и способы лечения. В дальнейшем Эрлих выполнял исследования самостоятельно, тщательно отшлифовывая методы использования сыворотки.

Его по праву можно считать основателем *серологии* — учения о физических, химических и биологических свойствах сыворотки крови и о методах ее приготовления. Когда эти методы ставят целью создание невосприимчивости к заболеванию, наука называется *иммунологией*.

Бельгийский бактериолог Жюль Борде (1870—1939) был другим крупным серологом, внесшим большой вклад в становление этой науки. В 1898 г., работая в Париже под руководством И. И. Мечникова, он открыл, что антитела, присутствующие в нагретой до 55°С сыворотке крови, по существу, остаются неизменными, сохраняя способность соединяться с теми же веществами (антигенами), с которыми они соединялись до нагревания. Однако способность сыворотки поражать бактерии исчезает. Возникло предположение, что какой-то очень нестойкий компонент (или группа компонентов) сыворотки действует в качестве дополнения (комплемента) к антителу, прежде чем последнее вступает в борьбу с бактерией. Борде назвал этот компонент алексином, а Эрлих — комплементом; последнее название принято и сейчас.

В 1901 г. Борде показал, что, если антитело реагирует с антигеном (чужеродным белком), комплемент истощается. Такой процесс фиксации комплемента оказался важным для диагностики сифилиса. Эта диагностика была разработана в 1906 г. немецким бактериологом Августом фон Вассерманом (1866—1925) и до сих пор известна как реакция Вассермана.

В реакции Вассермана сыворотка крови больного реагирует с определенными антигенами. Если в сыворотке содержатся антитела против возбудителя сифилиса, реакция осуществляется и комплемент исчезает. Утрата комплемента означает положительную реакцию на сифилис. Если комплемент не теряется, реакции не происходит и, следовательно, сифилиса у пациента нет.

Группы крови

Успехи серологии принесли в начале XX в. довольно неожиданные плоды: были открыты индивидуальные различия человеческой крови.

На протяжении всей истории врачи пытались возместить потерю крови путем ее переливания. Кровь здорового человека или даже животного вводилась в вену больного. Несмотря на отдельные случайные успехи, лечение, как правило, приводило к летальному исходу. Поэтому в большинстве европейских стран к концу XIX в. переливание крови было запрещено.

Австрийский врач Карл Ландштейнер (1868—1943) нашел ключ к решению проблемы. В 1900 г. он открыл, что кровь человека варьирует по способности сыворотки к агглютинации (склеиванию в комочки и выпаданию в осадок) красных кровяных телец (эритроцитов). Сыворотка крови одного человека может склеить эритроциты человека А, но не В, сыворотка другого, наоборот, — склеить эритроциты человека В, но не А. Существует сыворотка, которая склеивает эритроциты и А и В, и такая, которая вообще не склеивает эритроцитов. В 1902 г. Ландштейнер разделил человеческую кровь на четыре группы, или типа, которые он назвал А, В, АВ и 0.

Теперь нетрудно понять, что переливание крови в одних комбинациях безопасно, а в других вызывает смертельный исход, так как вводимые эритроциты могут агглютинировать с эритроцитами больного. Переливание крови при тщательном предварительном определении групп крови больного и донора сразу стало важным помощником в медицинской практике.

В последующие сорок лет Ландштейнер и другие ученые открыли такие группы крови, которые индифферентны при переливании крови. Все группы крови передаются по наследству в соответствии с менделевскими законами наследственности. Это обстоятельство в настоящее время используют при установлении отцовства. Так, например, родители с группой крови А не могут иметь ребенка с группой крови В.

Кроме того, открытие групп крови позволило выдвинуть приемлемое объяснение вековой проблемы рас. Люди всегда делили своих собратьев на некие группы; разумеется, авторы такого деления, лишённые всяких объективных критериев, себя обычно зачисляли в высшую группу. Даже в наше время неспе-

циалисты склонны делить человечество на расы лишь на основе цвета кожи.

Бельгийский астроном Ламберт Адольф Жак Кетле (1796—1874) впервые показал, что различия между человеческими индивидуумами постепенны и не очень резки. Они скорее количественные, чем качественные. Кетле использовал статистические методы для изучения людей, что позволяет считать его основателем *антропологии* (учения о естественной истории человека).

Кетле изучал результаты измерения объема груди шотландских солдат, данные о росте рекрутов французской армии и т. п. и в 1835 г. пришел к выводу, что отклонения этих показателей от средней величины столь же закономерны, как и падение игральных костей или распределение пулевых отверстий вокруг центра мишени. Иначе говоря, было показано, что жизнь течет по тем же законам, которые управляют и неодушевленным миром.

Шведский анатом Андерс Адольф Ретциус (1796—1860) предложил классифицировать расы по форме черепа. Отношение ширины черепа к его длине, помноженное на 100, он назвал краниальным (черепным) индексом. Если краниальный индекс меньше 80, перед вами — долихоцефал (длинноголовый); если он превышает 80 — брахицефал (широкоголовый). Европейцев он делил на представителей северной расы (высокие и длинноголовые), средиземноморской (невысокие и длинноголовые) и альпийской (невысокие и широкоголовые).

Но в действительности все это не так просто: различия очень малы, за пределами Европы они вообще стираются, наконец, краниальный индекс не строго фиксирован в наследственности и может меняться из-за недостатка витаминов и под влиянием окружающей среды, в которой живет ребенок.

Однако с установлением групп крови открылась заманчивая возможность использовать их для классификации популяций человека. Во-первых, группы крови не являются видимыми признаками. Они истинно врожденные и не поддаются влиянию окружающей среды, свободно смешиваются в последующих поколениях, поскольку при выборе супруга люди вовсе не

задумываются над тем, какая у него (или у нее) группа крови.

Ни одна группа крови в отдельности не может быть использована для различения рас, но встречаемость разных групп крови приобретает значение при сравнении большого числа людей. Можно считать, что приоритет в этой ветви антропологии принадлежит американскому иммунологу Уильяму Клоузеру Бойду (род. в 1903 г.). В 30-х годах он пытался выявить тип крови у населения различных частей света. На основании полученных сведений и литературных данных в 1956 г. Бойд подразделил человечество на тринадцать групп. Большинство групп соответствовало географическим делениям. К его удивлению, выявилась древняя европейская раса, характеризующаяся необычно высокой встречаемостью группы крови, называемой *Rh*-отрицательной (резус-отрицательной). Древние европейцы были вытеснены современными народами Европы, но их потомки (баски) сохранились и до наших дней в нагорьях Западных Пиренеев.

По встречаемости групп крови можно проследить миграции народов доисторического и даже близкого к нам времени. Например, процент группы крови В наиболее высок среди жителей Центральной Азии и прогрессивно уменьшается на запад и восток. Но в Западной Европе все же встречаются люди с группой крови В. Предполагают, что это результат периодических вторжений в Европу кочевников Центральной Азии — гуннов и монголов.

Вирусные заболевания

Наиболее значительные успехи в борьбе с микроорганизмами, не известными во времена Пастера и Коха, были сделаны в XX в. Пастеру не удалось отыскать возбудителя бешенства, заболевания явно инфекционного и, согласно его теории, вызываемого микроорганизмом. Пастер полагал, что этот микроб слишком мал и именно поэтому его не удавалось найти с помощью существовавших в то время приборов. Как выяснилось позже, Пастер был прав.

Инфекционный возбудитель может быть гораздо меньше обычной бактерии. Впервые в этом убедились

при изучении мозаичной болезни табака. Оказалось, что сок больных растений заражает здоровые. В 1892 г. русский ботаник Дмитрий Иосифович Ивановский (1864—1920) установил, что сок сохраняет свои инфекционные свойства, даже если его пропустить через фильтры, задерживающие все известные бактерии. В 1895 г. к этому же открытию пришел голландский ботаник Мартин Виллем Бейеринк (1851—1931). Бейеринк назвал инфекционный агент фильтрующимся вирусом, понимая под словом «вирус» просто ядовитое вещество. Эти открытия двух ученых легли в основу науки *вирусологии*.

Оказалось, что и некоторые другие заболевания вызываются фильтрующимися вирусами. Немецкий бактериолог Фридрих Леффлер (1852—1915) в 1898 г. установил, что фильтрующимся вирусом вызывается ящур крупного рогатого скота, а в 1901 г. Рид доказал то же самое в отношении желтой лихорадки. Такие заболевания, как полиомиелит, сыпной тиф, корь, свинка (эпидемический паротит), ветряная оспа, грипп и заразный насморк (common cold), также оказались вирусными.

Интересное научное открытие было сделано в 1915 г. Английский бактериолог Фредерик Уильям Творт (1877—1950), проводя свои наблюдения за колониями бактерий, обнаружил, что некоторые из них постепенно как бы окутываются туманом, а затем и вовсе исчезают. Он профильтровал раствор с исчезнувшими колониями, и оказалось, что в фильтрате содержится нечто вызывающее гибель колоний. Очевидно, и у бактерий имеются вирусные болезни: паразиты становятся жертвами еще более мелких паразитов. Канадский бактериолог Феликс д'Эрелль (1873—1949) в 1917 г. повторил это открытие. Он назвал вирусы, поражающие бактерий, бактериофагами, что значит «пожиратели бактерий».

Пока еще никто не может сказать, подлежит ли включению в список заболеваний, вызываемых вирусами, рак. Роль рака — одной из самых распространенных смертельных болезней нашего столетия — неуклонно растет, он уносит все больше человеческих жизней. Медленное неумолимое разрастание раковой

опухоли, обычно затяжная и мучительная смерть сделали рак одной из болезней, которые наводят ужас на человечество.

В период первых успехов микробной теории болезней полагали, что и рак — бактериальное заболевание, но найти вызывающие его бактерии не удавалось. После открытия вирусов стали искать раковый вирус, но опять-таки безуспешно. Все это в сочетании с тем, что рак не заразен, склонило многих ученых к мысли, что он вообще не микробного происхождения.

Может быть, это и так, однако не следует забывать, что, хотя вирус рака до сих пор не обнаружен, для отдельных видов рака открыты особые вирусоподобные агенты. В 1911 г. американский врач Фрэнсис Пейтон Раус (род. в 1879 г.) изучал куриную опухоль, называемую саркомой. Выясняя, нет ли в саркоме особого вируса, Раус профильтровал раковую вытяжку — оказалось, что фильтрат вызывает образование опухолей у здоровых кур. Утверждать, что открыт вирус рака, сам Раус не решился, но за него это сделали другие.

В течение почти четверти века вирус куриной саркомы Рауса был единственным четким примером инфекционного фактора, способного вызвать рак. Однако после 1930 г. появились и другие примеры. Несмотря на это, наука, изучающая опухоли, их предупреждение и лечение (*онкология*), является самым неясным разделом медицины.

Хотя физическая природа вирусов в течение почти сорока лет после их открытия оставалась неизвестной, это не мешало предпринимать возможные шаги на пути лечения вирусных заболеваний. Оспа, по существу, первое полностью ликвидированное вирусное заболевание. Вакцинация против оспы стимулирует организм к выработке антител, специфически направленных против вируса оспы. Естественно предположить, что для каждого вирусного заболевания существует свой серологический метод лечения.

Трудность состоит в том, что надо найти такой штамм вируса, который, вызывая слабые проявления болезни, в то же время стимулировал бы выработку антител против вирулентных штаммов (по аналогии с функцией, выполняемой штаммом коровьей оспы).

Сходные методы были использованы Пастером в борьбе с бактериальными заболеваниями, но культивировать бактерии и получать ослабленные бактериальные штаммы сравнительно просто.

Вирусы, к сожалению, размножаются только в живых клетках, и это еще более осложняет решение проблемы. Так, вакцина против желтой лихорадки была получена в 30-е годы южноафриканским микробиологом Максом Тейлером (род. в 1899 г.) после длительных внутримозговых пассажей (серии последовательных заражений) вируса, сначала на обезьянах, а затем на белых мышах. У мышей вирус желтой лихорадки вызывал энцефалит — воспаление головного мозга. После длительного пассирования вируса на мышах Тейлер вновь привил его обезьянам. К этому времени вирус был уже ослаблен, и обезьяны страдали лишь очень слабыми приступами желтой лихорадки. Но у животных вырабатывалась полная невосприимчивость к большинству вирулентных штаммов вируса.

Между тем американский врач Эрнест Вильям Гудпасчер (1886—1960) открыл своего рода живой аналог питательного бульона Коха. В 1931 г. он предложил использовать в качестве питательной среды для вирусов развивающиеся куриные эмбрионы. Если удалить верхушку скорлупы, оставшаяся часть яйца служит как бы естественной чашкой Петри. В 1936 г. Тейлор создал еще более безвредную вакцину против желтой лихорадки, отобрав ослабленный вирусный штамм из штаммов, длительно пассированных (до 200 раз) в культуре ткани куриного эмбриона.

Наиболее ярко успех нового серологического метода проявился в борьбе с полиомиелитом. Вирус полиомиелита был выделен в 1908 г. Ландштейнером, впервые заразившим этой болезнью обезьян. Однако обезьяны — малопригодный объект для поисков ослабленного штамма из-за дороговизны и трудности содержания большого числа животных.

Американский микробиолог Джон Франклин Эндерс (род. в 1897 г.) с двумя молодыми помощниками, Томасом Хаклом Веллером (род. в 1915 г.) и Фредериком Чапманом Роббинсом (род. в 1916 г.), в 1948 г. попытался культивировать вирусы в среде из измель-

ченных куриных эмбрионов и крови. Подобные попытки делались и раньше, но всегда оканчивались неудачей, поскольку культура вируса вытеснялась быстро размножающимися бактериями. Однако Эндерс добавил к среде открытый незадолго до этого пенициллин. Последний приостанавливал рост бактерий, никак не влияя на вирус. Вначале Эндерсу удалось успешно культивировать вирус паротита, а затем вирус полиомиелита (1949). Появилась возможность выращивать вирус полиомиелита в достаточном количестве, а значит, и надежда напасть среди сотен штаммов на ослабленный с желательными свойствами. Американский микробиолог Альберт Брусс Сейбин (род. в 1906 г.) успешно селекционировал и очистил к 1957 г. три типа ослабленных вакцинных штаммов для каждого из трех разновидностей полиомиелита и создал эффективную живую вакцину.

Согласно последним данным, Эндерс со своим помощником Самуэлем Лоуренсом Кацем (род. в 1927 г.) в начале 60-х годов нашел пригодный для изготовления вакцины ослабленный штамм вируса кори, что, вероятно, поможет покончить и с этой детской болезнью.

Аллергия

Механизм иммунитета не всегда используется, как нам кажется, наиболее рациональным образом. Организм может развить способность к выработке антител против любого чужеродного белка, даже против такого, который на первый взгляд безвреден. Если организм сенсibilизирован (то есть его чувствительность повышена), он реагирует на контакт с белками различными симптомами: отеком слизистых оболочек носа, чрезмерной выработкой слизи, кашлем, чиханием, слезотечением, сужением бронхиол легких (астма). Такая реакция организма называется аллергией. Часто причиной аллергии бывает присутствие какого-либо пищевого компонента или некоторых видов цветочной пыльцы (так называемая сенная лихорадка).

Даже белки других людей являются чужеродными для данного индивидуума, и организм вырабатывает против них антитела. Из этого можно заключить, что

каждый человек (за исключением близнецов) представляет собой химически особое существо. Именно поэтому заканчиваются неудачей попытки пересадить кожу или какой-либо орган от одного человека к другому. Организм больного, которому сделали пересадку, вырабатывает антитела, стараясь избавиться от чужеродного органа или ткани. Аналогичные трудности возникают при переливании крови, но пересадка связана с дополнительными, еще более сложными проблемами, так как ткани в отличие от крови человека невозможно классифицировать на ряд основных типов.

Это тем более досадно, что биологи научились поддерживать в течение некоторого времени жизнедеятельность изолированных частей тела. Так, сердце, удаленное у подопытного животного, можно заставить пульсировать еще довольно долго. В 1882 г. английский врач Сидней Рингер (1834—1910) предложил раствор, близкий по составу неорганических солей к плазме крови. Этот раствор, выполняя роль искусственной питательной жидкости, способен в течение достаточно длительного времени поддерживать жизнедеятельность изолированного органа.

Искусство сохранения органов жизнеспособными в питательной среде точного ионного состава довел до совершенства французский хирург Алексис Каррель (1873—1944). Он поддерживал рост клеток сердечной ткани куриного эмбриона в течение более двадцати лет.

Из этого следует, что трансплантация (пересадка) органа была бы успешной, если бы организм в ответ на нее не вырабатывал враждебных антител. И все же некоторые достижения имеются уже и сегодня. В повседневную практику вошла пересадка роговицы глаза; в Советском Союзе начиная с 1960 г. успешно производятся единичные пересадки почек.

В 1949 г. австралийский вирусолог Франк Барнет (род. в 1899 г.) выступил с утверждением, что способность организма к выработке антител против чужеродных белков не врожденная, а развивается в процессе жизни, хотя и может проявиться довольно рано. Английский биолог Питер Брайн Медавор (род. в 1915 г.) привил мышинным эмбрионам клетки мышинных же тканей, но от мышей другой линии (не

имевших общих предков). Итак, если эмбрионы не способны образовывать антитела, то к тому времени, когда они начнут самостоятельную жизнь и приобретут эту способность, привитые им белки уже не должны быть чужеродными. И действительно, оказалось, что взрослые мыши, привитые в эмбриональном состоянии, в отличие от непривитых принимали пересадку кожи от мышей другой линии.

В 1961 г. открыли источник способности организма вырабатывать антитела. Им оказалась зобная железа, где продуцируются лимфоциты (род белых кровяных клеток), в функцию которых входит образование антител. Сразу после рождения человека лимфоциты направляются в лимфоузлы и в кровяное русло. Через некоторое время лимфоузлы уже могут существовать сами по себе, а тимус по достижении человеком половой зрелости сокращается и исчезает. Сейчас еще трудно сказать, какое влияние окажет это открытие на возможность пересадки органов.

Химиотерапия

Борьба с бактериальными заболеваниями в некотором отношении проще, чем с вирусными. В предыдущей главе мы уже говорили, что бактерии легче поддаются культивированию. Кроме того, они более уязвимы. Бактерии существуют вне клеток «хозяина» и оказывают свое вредоносное действие, либо конкурируя с ними в пище, либо выделяя токсины. Однако их обмен веществ, как правило, отличается от обмена веществ клеток «хозяина». Поэтому у нас всегда есть возможность воздействовать на бактерии теми химическими веществами, которые нарушат их обмен веществ, не влияя сколько-нибудь существенно на клеточный обмен веществ.

Использование химических лекарственных средств для борьбы с болезнями восходит к доисторическим временам. Лечение травами и отварами приносит порой положительные результаты и в наши дни. Опыт приготовления таких лекарств лекари-«травники» передавали из поколения в поколение. Например, хинин применялся сначала как народное средство против малярийного паразита, а позже его взяли на вооружение профессиональные медики.

Появление синтетических препаратов дало возможность подбирать для каждой болезни специфическое лекарственное вещество. Пионером в этой области был Эрлих — он называл такие лекарства «волшебными пулями», отыскивающими и убивающими микроба, не принося никакого вреда клеткам тела больного.

Эрлих работал с красителями бактерий. Зная, что эти краски вступают в специфические соединения с определенными составными частями бактериальных клеток, ученый попытался установить, нельзя ли ими разрушить рабочий механизм бактерий. Ему и в самом

деле удалось найти краситель — трипановый красный, который разрушал трипаносом, — правда, они относятся к простейшим, а не к бактериям, но это не меняет дела.

Однако Эрлих на этом не остановился. Он справедливо рассудил, что действие трипанового красного обусловлено сочетаниями атомов азота, входящих в состав красителя. Атомы мышьяка по своим химическим свойствам сходны с атомами азота, но в соединениях более ядовиты. И Эрлих стал испытывать — одно за другим — все мышьяксодержащие органические вещества, которые в то время можно было достать или синтезировать.

В 1909 г. один из его помощников обнаружил, что соединение, известное в лаборатории под № 606, будучи не очень эффективным против трипаносом, дало превосходные результаты на возбудителе сифилиса. Эрлих назвал это лекарство сальварсаном и посвятил остаток своей жизни улучшению метода его использования для лечения сифилиса.

С получения трипанового красного и сальварсана ведет свое начало современная *химиотерапия*, то есть лечение химическими препаратами (термин предложен Эрлихом). Ученые возлагали большие надежды на то, что и другие заболевания удастся лечить аналогичным способом. К сожалению, в течение 25 лет после обнаружения эффективного действия сальварсана исследователям не удалось извлечь ничего полезного из огромного списка синтетических органических веществ.

Но прошло время, и судьба вновь улыбнулась медикам. Немецкий биохимик и врач Герхардт Домагк (род. в 1895 г.), работавший по заданию фирмы по производству красителей, начал систематически испытывать новые красители в надежде использовать некоторые из них в медицине. Одним из вновь созданных препаратов был пронтозил. В 1932 г. Домагк обнаружил, что инъекция этого красителя оказывает сильнейшее действие на стрептококковую инфекцию у белых мышей.

Вскоре ему пришлось проверить этот препарат на собственной дочери, которая, уколовшись иглой, внесла в организм стрептококковую инфекцию. Никакое

лечение не помогало, и Домагк в отчаянии ввел ей большую дозу пронтозила. Больная быстро пошла на поправку, и в 1935 г. мир узнал о новом лекарстве.

Незадолго до этого группа французских бактериологов установила, что антибактериальное действие пронтозила связано с наличием в его молекуле остатка сульфаниламида (соединения, известного химикам еще с 1908 г.). Использование пронтозила и других сульфаниламидных препаратов ознаменовало целую плеяду «чудесных лекарств». Множество инфекционных болезней, особенно некоторые разновидности пневмонии, перестали угрожать жизни человека.

Ученые долго не могли найти лекарственных веществ для борьбы с туберкулезными бациллами. И только в 1952 г. немецким и американским исследователям удалось обнаружить, что гидразид изоникотиновой кислоты (тубазид) удивительно эффективно излечивает от туберкулеза. С тех пор тубазид и его производные стали повсеместно применяться в борьбе с туберкулезом.

Антибиотики и пестициды

И все же крупнейшие достижения химиотерапии связаны не с синтетическими лекарствами типа салварсана и сульфаниламида, а с природными веществами. Американский микробиолог Рене Жюль Дюбо (род. в 1901 г.) на протяжении многих лет изучал почвенные микроорганизмы. Как известно, в почву попадают трупы животных, пораженных различными заболеваниями, но, за очень редким исключением, сама почва не является источником инфекций. Это, очевидно, объясняется тем, что в ней существуют какие-то антимикробные агенты. (Такие агенты впоследствии получили название антибиотиков, что означает «против жизни».)

В 1939 г. Дюбо выделил из почвенных бактерий кристаллическое вещество тиротрицин, состоящее из двух антибиотиков, впоследствии названных грамицидином и тироцидином. Хотя сам по себе тиротрицин не был очень эффективным агентом, он возродил интерес ученых к открытию, сделанному десятью годами

раньше шотландским бактериологом Александером Флемингом (1881—1955).

Работая с культурой стафилококка, Флеминг случайно оставил ее на несколько дней открытой. Он уже совсем собирался ее выбросить, когда заметил, что туда попали споры плесени и вокруг каждой плесневой колонии стафилококковые бактерии отсутствуют.

Флеминг выделил эту плесень и отнес ее к виду *Penicillium notatum*, близкому к обычной плесени, которая часто появляется на черстве хлеба. Ученый пришел к выводу, что плесень выделяет какое-то вещество, угнетающее рост бактерий, и назвал это вещество пенициллином. На основе тщательного изучения он показал, что пенициллин воздействует на одни бактерии и не влияет на другие, абсолютно безвреден для лейкоцитов и, по-видимому, для других клеток человеческого организма. Дальше этих выводов Флеминг не пошел¹.

Открытие Дюбо возродило интерес к антибиотикам, одним из представителей которых был пенициллин. Кроме того, начавшаяся вторая мировая война настоятельно требовала эффективных средств для борьбы с раневыми инфекциями. Именно поэтому английский патолог Говард Уолтер Флори (род. в 1898 г.) совместно с английским биохимиком Эрнстом Чейном (род. в 1906 г.) пытался разрешить проблему выделения пенициллина, определить его структуру и найти промышленные способы его получения. К концу войны оба эти ученые возглавили большую группу исследователей и добились блестящих успехов. Пенициллин стал и по сей час остается самым популярным лекарством в борьбе с инфекционными заболеваниями.

Послевоенные исследования привели к открытию и других антибиотиков. Так, американский бактериолог Соломон Ваксман (род. в 1888 г.), которому принад-

¹ Русские ученые первые отметили лечебные свойства зеленой плесени. Вячеслав Авксентьевич Манассеин в 1871 г. наблюдал в эксперименте антагонизм зеленой плесени и бактерий; Алексей Герасимович Полотебнов в 1872 г. использовал это явление на практике, применяя для лечения гнойных ран и сифилитических язв повязки с зеленой плесенью или ее спорами в миндальном масле. — Прим. ред.

лежит термин «антибиотик», столь же систематически исследовал почвенные микробы, как в свое время Эрлих — синтетические вещества. В 1943 г. ему удалось выделить антибиотик, оказавшийся эффективным против тех бактерий, на которые не действовал пенициллин. Через два года этот антибиотик поступил в широкую продажу под названием стрептомицина.

В начале 50-х годов были открыты антибиотики широкого спектра действия (то есть подавляющие развитие многих видов бактерий), группа тетрациклинов — ауреомицин, тетрацилин, тетрациклин.

С появлением антибиотиков борьба против бактериальных заболеваний достигла таких успехов, которые каких-нибудь два-три десятилетия назад казались невероятными. А между тем будущее не сулит радужных перспектив. В результате естественного отбора выживают только те штаммы бактерий, которые имеют естественную устойчивость к антибиотикам. Поэтому со временем отдельные антибиотики теряют свою эффективность. Несомненно, в дальнейшем будут открыты новые антибиотики, однако о полной победе пока говорить не приходится, да, возможно, ее и не будет.

Химиотерапевтические средства, как правило, не действуют на вирусы. Последние размножаются внутри живой клетки; чтобы уничтожить их химическим воздействием, придется уничтожить саму клетку. Однако успеха можно добиться, уничтожая многоклеточных живых существ — носителей патогенного для человека вируса.

Так, вирус сыпного тифа переносит платяная вошь, от которой гораздо труднее избавиться, чем, скажем, от свободно живущего комара. Тиф — чрезвычайно опасная болезнь: на фронтах первой мировой войны от эпидемии сыпного тифа нередко гибли больше солдат, чем от вражеской артиллерии.

В 1935 г. швейцарский химик Пауль Мюллер (род. в 1899 г.) приступил к поискам органических соединений, способных быстро уничтожать насекомых, не угрожая жизни других животных. В сентябре 1939 г. он окончательно установил, что для этой цели лучше всего подходит 4,4-дихлордифенилтрихлорэтан (сокращенно ДДТ), впервые синтезированный в 1874 г.

В 1942 г. началось промышленное производство ДДТ, а уже через год этот препарат использовали во время эпидемии сыпного тифа в Неаполе (эпидемия вспыхнула вскоре после оккупации города англо-американскими войсками). В результате применения нового препарата насекомые погибли, и впервые в истории эпидемия тифа была быстро ликвидирована. Аналогичная картина наблюдалась в конце 1945 г. в Японии.

После второй мировой войны ДДТ и другие органические инсектициды стали применяться не только с целью предотвращения эпидемий, но и для спасения урожая от насекомых. Вскоре вещества, уничтожающие сорняки и насекомых, были объединены в группу пестицидов. Следует, однако, отметить, что, по мере того как у насекомых вырабатывается устойчивость к химическим препаратам, пестициды теряют свою эффективность. Более того, в результате беспорядочного использования пестицидов уничтожаются огромные количества безвредных для человека организмов и тем самым нарушается равновесие в природе. Следовательно, излишнее увлечение пестицидами может принести больше вреда, чем пользы.

Это весьма серьезная проблема. Учение о взаимосвязи живых организмов с окружающей средой и друг с другом (*экология*) является областью биологии, где слишком много нерешенных проблем. В погоне за кратковременной выгодой человечество меняет окружающую среду, но кто знает, возможно, даже незначительные на первый взгляд изменения в конечном итоге приведут к необратимым потерям.

Продукты промежуточного обмена

Различные химические агенты, действуя на насекомых, сорняки и микробы, нарушают их обмен веществ, иными словами, осуществляют в организме «диверсию» в отношении его химических механизмов. Поиски таких агентов становятся все более эффективными, по мере того как проясняется вопрос о характере процесса обмена веществ.

В этом отношении нельзя пройти мимо заслуг английского биохимика Артура Хардена (1865—1940),

который занимался ферментами дрожжевой вытяжки (напомним: Бухнеру удалось доказать, что эта вытяжка не менее активно расщепляет сахара, чем сами дрожжевые клетки). Еще в начале нынешнего столетия (1905) Харден обратил внимание, что дрожжевой экстракт вызывает бурный распад сахара и выделение углекислоты, причем активность процесса со временем снижается. На первый взгляд могло показаться, что эта реакция связана с истощением ферментов в экстракте, но добавлением в раствор небольшого количества фосфата натрия (простое неорганическое соединение) Хардену удалось активизировать действие фермента.

Концентрация неорганического фосфата в процессе ферментативной реакции падает, поэтому Харден стал искать в растворе какое-нибудь органическое соединение фосфора, возникающее, как он полагал, из неорганического фосфата. Им оказалась молекула сахара с двумя присоединившимися фосфатными группами. Открытие Хардена положило начало изучению промежуточного обмена веществ, поискам многочисленных (иногда очень кратковременных) соединений, которые образуются в процессе химических реакций в тканях организма.

Попробуем вкратце рассказать об основных направлениях этих поисков. Немецкий биохимик Отто Фриц Мейергоф (1884—1951) в опытах, которые он проводил после окончания первой мировой войны, обнаружил, что мышечное сокращение приводит к исчезновению гликогена (разновидность крахмала) и появлению определенного количества молочной кислоты. Характерно, что этот процесс происходит без поглощения кислорода. Во время отдыха мышцы часть молочной кислоты окисляется (при этом для покрытия «кислородной задолженности» поглощается молекулярный кислород), а возникающая таким образом энергия дает возможность большей части молочной кислоты вновь превратиться в гликоген. К аналогичному выводу пришел английский физиолог Арчибалд Вивьен Хилл (род. в 1886 г.), проводя опыты по определению количества тепла, образующегося в момент сокращения мышцы.

В 30-е годы американский биохимик Карл Фердинанд Кори (род. 1896 г.) и его жена Герт Тереза Кори (1896—1957) тщательно изучили детали превращения гликогена в молочную кислоту. Выделив из мышечной ткани неизвестное до того времени соединение — глюкозо-1-фосфат (которое теперь называется эфиром Кори), они показали, что это первый продукт распада гликогена. Супруги Кори проследили превращение глюкозо-1-фосфата в серию промежуточных продуктов и установили место каждого в цепи распада. Оказалось, что одним из промежуточных продуктов и является тот самый фосфат сахара, на который впервые указывал Харден несколько десятилетий назад.

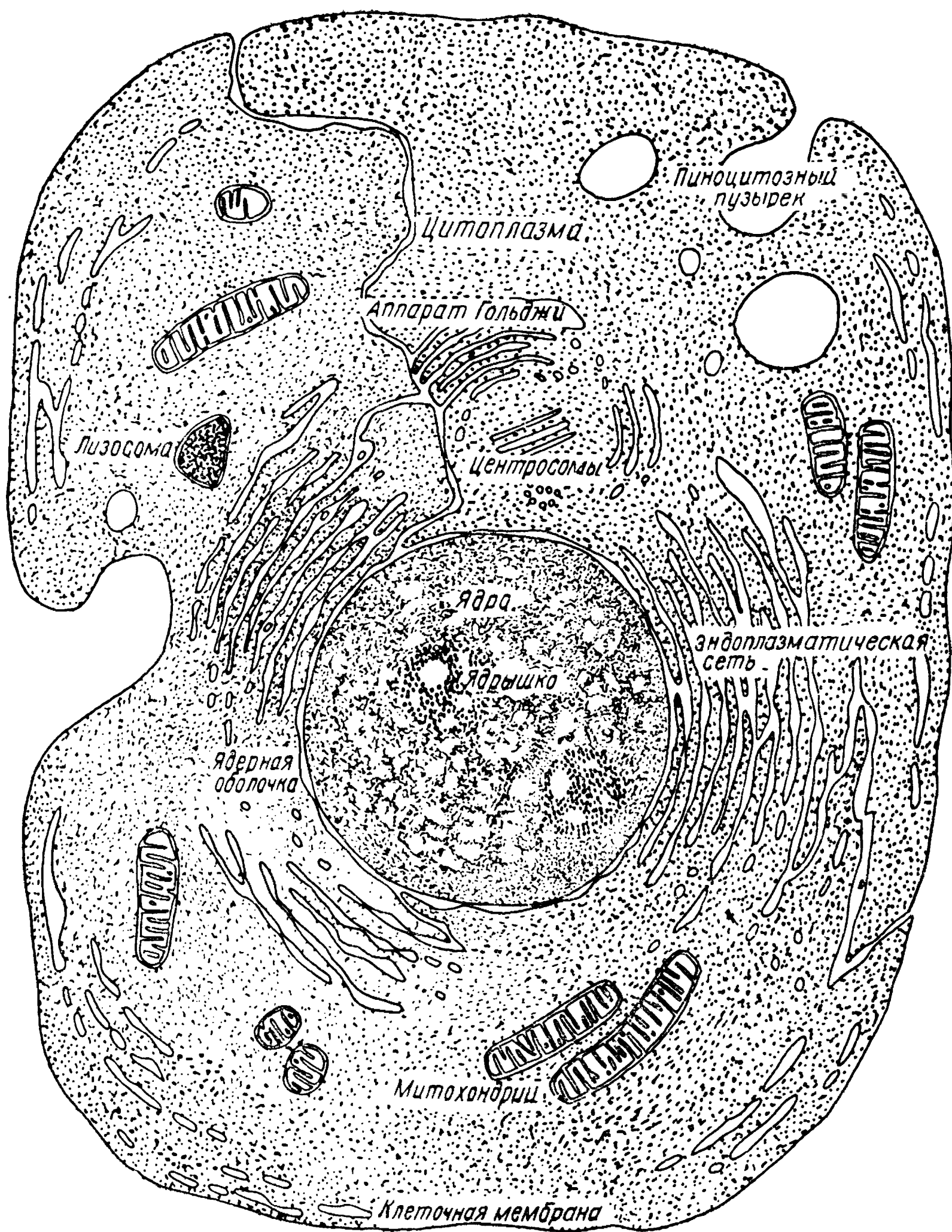
Тот факт, что Харден и Кори в поисках продуктов промежуточного обмена натолкнулись на фосфатсодержащие органические соединения, имеет большое значение. Тем самым была установлена важная роль фосфатной группы во многих механизмах биохимических процессов. Американский биохимик Фриц Альберт Липман (род. в 1899 г.) дал объяснение этому явлению. По его мнению, фосфатная группа может занимать в молекуле одно из двух положений — с низкой энергией и с высокой. Энергия, высвобождаемая при распаде молекул крахмала или жира, используется для превращения низкоэнергетических фосфатов в высокоэнергетические. Так происходит сохранение энергии в удобной организму химической форме. Распад высокоэнергетических фосфатов высвобождает количество энергии, достаточное для осуществления различных химических превращений, идущих с поглощением энергии¹.

¹ Советские ученые Владимир Александрович Энгельгардт и Милица Николаевна Любимова в 1939 г. доказали, что миозин, составляющий основу сократительного вещества мышцы, осуществляет химическую реакцию, доставляющую энергию для мышечного сокращения. Это открытие легло в основу одного из важнейших положений общей биохимии — о трансформировании энергии окислительных процессов в химическую энергию фосфорных соединений, в первую очередь аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), и превращении в живой клетке химической энергии в механическую. Энгельгардт в 1932 г. впервые указал на роль процессов фосфорилирования для накопления легко мобилизуемых запасов энергии в организме. — *Прим. ред.*

Те же стадии распада гликогена, которые наступают после расщепления молочной кислоты и происходят с участием кислорода, можно изучать с помощью метода, разработанного и примененного в 1923 г. немецким биохимиком Отто Гейнрихом Варбургом (род. в 1883 г.). Метод Варбурга позволяет измерять потребление кислорода тонкими срезами живых тканей. Опыты проводят следующим образом: на донышко тонкой U-образной трубки, к которой прикреплена маленькая колба, наливают окрашенный раствор. Углекислота, выделяемая тканями, поглощается щелочным раствором в колбе. Поскольку поглощение кислорода тканями происходит без замещения углекислотой, в колбе создается частичный вакуум и жидкость в U-образной трубке всасывается вверх, по направлению к колбе. Скорость потребления кислорода определяется темпом изменения уровня жидкости, измеряемым в строго контролируемых условиях.

Метод Варбурга позволил изучить влияние различных соединений на потребление кислорода. Соединение, восстанавливающее уровень жидкости после его падения, можно считать промежуточным продуктом в серии реакций, связанных с потреблением кислорода. В этой области большая заслуга принадлежит венгерскому биохимику Альберту Сент-Дьердю (род. в 1893 г.) и английскому биохимику Гансу Адольфу Кребсу (род. в 1900 г.). К 1940 г. Кребс выявил все основные этапы превращения молочной кислоты до углекислоты и воды; последовательность этих реакций часто называют циклом Кребса. Еще раньше Кребс изучал основные стадии образования продукта выделения — мочевины — из входящих в состав белков аминокислот. Он установил, что при этом происходит отщепление азота и остатки молекул аминокислот распадаются, выделяя нужную энергию. Тем самым Кребс подтвердил справедливость гипотезы Рубнера, выдвинутой почти за 50 лет до него.

Изучение внутреннего химизма клеток позволило ученым расширить представления о тонкой структуре клетки. В начале 30-х годов появился первый электронный микроскоп. Его отличие от обычного, светового микроскопа заключается в том, что вместо све-



Р и с. 5. Современная схема строения клетки, основанная на наблюдениях в электронном микроскопе.

товых лучей в нем используются электронные. Это во много раз увеличивает его разрешающую способность. Американский физик Владимир Зворыкин (род. в 1889 г.) усовершенствовал электронный микроскоп, приспособив его для нужд цитологии. Стали видны частицы, не превышающие по размеру крупных молекул. Было обнаружено, что протоплазма клетки — это комплекс мелких высокоорганизованных структур, получивших название органелл, или частиц.

С помощью разработанных в 40-х годах методик удалось расчленить клетку и выделить из ее протоплазмы различные органеллы. Самые крупные из них — митохондрии. В типичной клетке печени содержится до тысячи митохондрий — палочковидных образований длиной 0,002—0,005 мм. Детальное изучение органелл, проведенное американским биохимиком Дэвидом Эзрой Грином (род. в 1910 г.) и его сотрудниками, показало, что именно в митохондриях протекают реакции цикла Кребса. В самом деле, здесь идут все реакции с участием катализирующих ферментов, связанные с использованием молекулярного кислорода. Таким образом, оказалось, что маленькая органелла является своеобразной энергетической станцией клетки.

Радиоактивные изотопы

Изучению сложной цепи реакций обмена веществ в значительной мере помогло использование особых атомов, названных изотопами. На протяжении первой трети XX в. физики обнаружили, что большая часть элементов имеет несколько изотопов. Организм особой разницы между ними не чувствует, но лабораторные приборы чутко реагируют на нее.

Впервые широко использовал изотопы в биохимических исследованиях американский ученый Рудольф Шенгеймер (1898—1941). В 1935 г. исследователям стал доступен редко встречающийся изотоп водорода (дейтерий), который вдвое тяжелее обычного водорода. Шенгеймер синтезировал молекулы жира, в которых заменил обычный водород тяжелым водородом, или дейтерием, а затем скормил эти жиры лабораторным животным. Таким образом в ткани животных

был введен тяжелый водород, на который они реагировали так же, как и на обычный. Анализы животных жиров, содержащих дейтерий, дали поразительные результаты.

В то время ученые полагали, что запасы жиров в организме в основном неподвижны и мобилизуются только при голодании. Однако, исследовав состав жировой ткани крыс, получивших дейтерий, Шенгеймер обнаружил, что на четвертые сутки в тканях содержалась почти половина скормленного с пищей дейтерия. Другими словами, поглощенный жир откладывается, а ранее отложенный используется, то есть имеет место быстрый и непрерывный круговорот веществ, входящих в состав организма. Аналогичные результаты отмечались и в опытах с мечеными аминокислотами, в которых Шенгеймер использовал изотоп азота (тяжелый азот). Он кормил крыс смесью аминокислот, из которых лишь одна была меченая, и вскоре обнаружил, что мечеными оказались все аминокислоты. На основе этих исследований Шенгеймера были выдвинуты новые представления о динамическом состоянии всех составных частей организма.

В принципе можно проследить весь порядок обмена, последовательно используя различные соединения с изотопами. Легче всего это сделать с помощью радиоактивных изотопов, атомы которых отличаются не только весом, но и способностью к распаду с выделением высокоподвижных энергетических частиц. Эти частицы легко обнаружить, поэтому для опыта можно ограничиться минимальным количеством радиоактивных изотопов. Созданные после окончания второй мировой войны ядерные реакторы позволили широко получать радиоактивные изотопы. Кроме того, был открыт радиоактивный изотоп углерода (углерод-14), который оказался чрезвычайно полезным для исследований.

Радиоактивные изотопы помогли американскому биохимику Мелвину Кэлвину (род. в 1911 г.) выявить тончайшие детали последовательных реакций процесса фотосинтеза, посредством которого зеленые растения превращают солнечный свет в химическую энергию и снабжают животный мир пищей и кислородом. Кэлвин в течение нескольких секунд давал микроско-

пическим растительным клеткам доступ к углекислоте на свету и затем убивал их. К этому моменту успевали, по-видимому, завершиться лишь первые этапы фотосинтеза. Затем он измельчал клетки и разделял их на составные части, используя метод хроматографии на бумаге (о котором мы расскажем подробнее в следующей главе). Теперь оставалось уточнить, какие из получаемых компонентов возникли в результате первого этапа фотосинтеза.

Кэлвину удалось ответить на этот вопрос, так как в молекуле углекислоты, с которой соприкасались растительные клетки, содержался изотоп углерода (углерод-14). Любое вещество, которое образуется из этой углекислоты в процессе фотосинтеза, само по себе становится радиоактивным, и его можно без труда определить. Этот вывод послужил отправной точкой для целого ряда исследований, проведенных в 50-х годах и позволивших разработать схему основных стадий фотосинтеза.

Ферменты и коферменты

Процесс обмена веществ, который стал особенно хорошо известен ученым в середине 50-х годов, можно считать своеобразным выражением ферментативной природы клетки. Любая метаболическая реакция катализируется благодаря специфическому ферменту; характер обмена веществ определяется природой и концентрацией присутствующих в клетке ферментов. Следовательно, чтобы понять обмен веществ, необходимо знать ферменты.

Харден, открывший в начале нынешнего столетия промежуточный обмен веществ, обратил также внимание на еще одну сторону ферментативной деятельности. Он поместил в воду дрожжевой экстракт в небольшом мешке из диализирующей мембраны (через которую просачиваются только молекулы малых размеров). После того как через стенки мешка вышли мелкие молекулы экстракта, последний уже не мог расщеплять сахар. Объяснить это явление просачиванием через мембрану самого фермента нельзя, поскольку вода, в которой находился мешок, также не расщепляла сахара. Однако в соединении с экстрактом внутри мешка она приобретала эту способность. Следовательно, можно сделать вывод: помимо крупных молекул, фермент включает в себя и относительно мелкие, непрочные связанные и потому способные просачиваться через мембрану. Эти мелкие молекулы, являющиеся структурной частью фермента и очень важные для его функционирования, получили название коферментов.

В середине 20-х годов шведский химик Ганс Карл Август Симон Эйлер (род. в 1873 г.) обнаружил, что и другие ферменты содержат коферменты, однако структуру последних удалось выяснить лишь десятилетием позже. Тогда же определили строение витами-

нов, после чего уже не вызывало сомнения, что в большинстве коферментов в качестве составной части молекулы имеются витаминоподобные структуры.

Итак, витамины, по-видимому, являются той частью коферментов, которые не вырабатываются самим организмом и поэтому должны быть включены в пищу. Без витаминов построение коферментов невозможно, а без коферментов некоторые ферменты оказываются недействительными и, таким образом, обмен веществ нарушается. В результате наступает авитаминоз, иногда со смертельным исходом.

Поскольку ферменты и коферменты — это катализаторы, нужные организму в малых количествах, витамины тоже нужны в столь же небольших количествах. Этим, собственно, и объясняется тот факт, что ничтожнейшие составные части пищи могут оказаться крайне необходимыми для нормальной жизнедеятельности организма. Следовые количества таких элементов, как медь, кобальт, молибден, цинк, образуют существенную часть ферментной структуры. Были выделены ферменты, содержащие по одному или несколько атомов этих элементов.

Что же следует сказать о самих ферментах? На протяжении прошлого столетия ферменты считались таинственными веществами, выявляемыми лишь по их действию. Немецкому химику Леонору Михаэлису (1875—1949) удалось раскрыть тайну ферментов с помощью законов и методов химической кинетики (раздела физической химии, изучающего скорость реакций). В 1913 г. он установил зависимость скорости реакций, катализируемых ферментами, от определенных условий. Он предположил, что фермент образует промежуточное соединение с веществом, реакцию которого он катализирует. Подобное допущение свидетельствует о том, что ферменты есть не что иное, как молекулы, подчиняющиеся физико-химическим законам. Но что же это за молекулы? По всей вероятности, это белки, так как ферментный раствор легко теряет активность даже при слабом нагревании, а, как известно, такую термолабильность имеют лишь белковые молекулы.

Однако все это были лишь предположения. В 20-х годах немецкий химик Рихард Вильштеттер (1872—

1942) выдвинул гипотезу, согласно которой ферменты вовсе не являются белками. Правда, как оказалось впоследствии, эта гипотеза была ошибочной, но научный авторитет ее автора долгое время не позволял в ней усомниться. Через несколько лет вопрос о белковой природе ферментов был поднят вновь, на сей раз американским биохимиком Джеймсом Бэчелором Самнером (1887—1955). В 1926 г. Самнер выделил из семян мечевидной канавалии фермент, катализирующий реакцию расщепления мочевины на аммиак и углекислый газ. В процессе получения фермента ученый обнаружил возникновение в определенный момент мельчайших кристаллов. Выделив и растворив эти кристаллы, он получил жидкость с повышенной активностью уреазы. Все попытки отделить эту активность от кристаллов не увенчались успехом. Полученные кристаллы оказались ферментами и, как показали опыты Самнера, одновременно и белками. Таким образом, уреазы была не только первым ферментом, полученным в кристаллическом виде, но и первым ферментом с доказанной белковой природой. Сомнениям относительно того, распространяется ли эта закономерность на все ферменты, положили конец исследования американского биохимика Джона Говарда Нортропа (род. в 1891 г.). В 1930 г. ученому удалось кристаллизовать пепсин — расщепляющий белок фермент желудочного сока; двумя годами позже — трипсин и в 1935 — химотрипсин. Трипсин и химотрипсин — расщепляющие белок ферменты поджелудочной железы. Они также оказались белками. После этого ученые получили в кристаллическом виде еще десятки ферментов, и все они были белками. К середине 30-х годов проблему ферментов уже нельзя было отделить от проблемы белков.

Электрофорез и дифракция рентгеновских лучей

Развитие химических и физических методов в первой половине текущего столетия позволило биохимикам точнее исследовать крупные молекулы белка, которые, по представлениям ученых, являются основой жизни. Так **создалась** новая область науки — *молеку-*

лярная биология, сочетающая в себе физику, химию и биологию. Основной задачей молекулярной биологии было детальное изучение тонкой структуры и функционирования гигантских молекул жизни.

В 1923 г. шведский химик Теодор Сведберг (род. в 1884 г.) разработал новый метод определения размеров белковых молекул — центрифугирование. Сконструированная им ультрацентрифуга представляла собой вращающийся сосуд, который создавал центробежную силу, в сотни тысяч раз превышающую силу земного притяжения. Тепловое колебание молекул воды при обычной температуре достаточно для поддержания во взвешенном состоянии гигантских молекул белка. Оно противодействует силе земного притяжения, но не способно противостоять центробежной силе. Во вращающейся центрифуге молекулы белка осаждаются, или седиментируют. Молекулярный вес белковых молекул можно определить по скорости их оседания. Так, молекула средней величины, например молекула гемоглобина (пигмент крови), имеет молекулярный вес, равный 67 600. Эта величина в 3700 раз превышает молекулярный вес воды, равный 18. Другие белковые молекулы еще крупнее, их молекулярный вес выражается сотнями тысяч единиц.

Размер и сложность белковой молекулы определяют размещение на ее поверхности атомов, способных нести электрические заряды. При этом каждому белку свойственно оригинальное расположение положительных и отрицательных зарядов, способное определенным образом изменяться в зависимости от изменения кислотности окружающей среды.

Если раствор белка поместить в электрическое поле, отдельные белковые молекулы начинают двигаться либо к положительному, либо к отрицательному электроду со скоростью, обусловленной характером электрического заряда, размером и формой молекулы и т. д. Нет двух белков, которые в любых равных условиях обладали бы одинаковой скоростью. На основе этой закономерности шведский химик Арне Вильгельм Каурин Тизелиус (род. в 1902 г.), ученик Сведберга, в 1937 г. сконструировал прибор, который состоял из U-образной трубки с белковой смесью,

способной перемещаться под действием электрического поля. (Это явление перемещения в электрическом поле взвешенных в жидкости частиц называется электрофорезом.) Ввиду того что каждый компонент смеси движется со свойственной ему скоростью, смесь можно постепенно разделить. U-образная трубка собирается из особым образом соединенных секций, ее легко расчленить. Благодаря этому каждую составную часть смеси, находящуюся в отдельной секции, можно отделить от остальных компонентов.

Применяя соответствующие цилиндрические линзы и используя изменение отражения светового луча при прохождении его через суспендированную смесь (по мере изменения концентрации белков), стало возможным проследить процесс разделения смеси. Изменение рефракций давало на фотографии волнообразные кривые, по которым можно было вычислить количество каждого белка в смеси. В частности, белки плазмы крови, подвергнутые электрофорезу, были разделены на множество фракций, включая альбумин и три группы глобулинов — α , β и γ , — причем фракция γ -глобулинов содержала антитела.

В 40-е годы были разработаны методы промышленного получения различных белковых фракций.

Ультрацентрифугирование и электрофорез зависели от общих свойств молекулы белка. Применение рентгеновских лучей позволило биохимикам исследовать внутреннее строение молекулы. Проходя через вещество, пучок рентгеновских лучей рассеивается. Если частицы вещества расположены в строгом порядке (как атомы в кристалле), то рассеяние лучей будет также упорядочено. Пучок рентгеновских лучей, попадая на фотопленку после рассеяния кристаллом, даст симметричное расположение точек. На основании такого рисунка можно определить положение атомов в кристалле.

Крупные молекулы нередко состоят из более мелких единиц, равномерно расположенных внутри молекулы. Это справедливо и для белковых молекул, структурными единицами которых являются аминокислоты. О расположении аминокислот в молекуле белка можно судить по тому, как рассеивается пучок рентгеновских лучей. Хотя рассеяние луча белками

выражено не столь ярко, как рассеяние кристаллами, его все же можно использовать для анализа белков. Общая картина пространственного расположения аминокислотных единиц была выявлена в начале 30-х годов. Выдающиеся исследования американского химика Лайнуса Полинга (род. в 1901 г.) выявили точное распределение аминокислот и показали, что их цепь представляет собой улиткообразную спираль.

По мере того как ученые все глубже проникали в строение белка, они получали все более сложные результаты рентгеноструктурного анализа. Появилась необходимость в сложных и трудоемких математических вычислениях, которые были не под силу человеческому разуму. К счастью, в 50-х годах была создана электронно-вычислительная машина, способная в кратчайший срок выполнять длиннейшие ряды вычислений.

Впервые электронно-вычислительную машину применили для изучения витаминов. Еще в 1926 г. два американских врача, Джордж Ричард Майнот (1885—1950) и Уильям Перри Мерфи (род. в 1892 г.), заметили, что регулярное введение печени в диету больных так называемым злокачественным малокровием спасает их от, казалось бы, неминуемой смерти. Они предположили, что это свойство печени обусловлено присутствием витамина. Этот витамин, получивший название B_{12} , удалось выделить только в 1948 г. Его молекула оказалась очень сложной; она состоит из 183 атомов шести различных элементов. В 1956 г., используя новые физические методы и вычислительную аппаратуру, группа ученых под руководством шотландского химика-органика Александра Тодда (род. в 1907 г.) выяснила детальное строение этого витамина. Поскольку среди прочих структур он содержал циангруппу, атом кобальта и аминокгруппу, витамин получил название цианокобаламина.

Неизбежность применения электронно-вычислительных машин при дифракционном изучении белков стала очевидной. В 1960 г., используя метод дифракции рентгеновских лучей и вычислительные машины, английские биохимики Макс Фердинанд Перутц (род. в 1914 г.) и Джон Каудери Кэндрю (род. в 1917 г.)

смогли дать полную картину строения молекулы миоглобина (мышечного белка, в какой-то степени напоминающего гемоглобин, но в четыре раза более мелкого) с точным указанием расположения каждой аминокислоты.

Метод хроматографии

Выяснить строение крупных молекул посредством метода дифракции рентгеновских лучей значительно легче, если известны химическая природа субъединиц молекул и хотя бы в общем виде их расположение.

Прогресс в изучении химии белка был достигнут не сразу. Ученые минувшего столетия могли только весьма голословно утверждать, что белковая молекула состоит из аминокислот. На рубеже XX в. немецкому химику Эмилю Герману Фишеру (1852—1919) удалось показать, каким образом аминокислоты комбинируются в молекуле белка. В 1907 г. он даже получил очень простое белковоподобное соединение, состоящее из 18 единиц: 15 молекул одной аминокислоты и 3 молекулы другой.

Какова же структура более сложной белковой молекулы, встречающейся в природе? И в первую очередь, каково точное число каждого типа аминокислот в молекуле белка? Проще всего ответить на этот вопрос, расщепив белковую молекулу на отдельные аминокислоты и на основании химического анализа определив относительное количество каждого компонента.

Однако для современников Фишера этот путь был неприемлем. В те времена обычными химическими методами нельзя было различить аминокислоты, обладавшие сходным строением. Ответ на этот вопрос пришел с появлением нового метода, принцип которого в 1903 г. впервые разработал русский ботаник Михаил Семенович Цвет (1872—1919). Исследуя пигменты растений, Цвет получил сложную смесь, состоящую из столь сходных компонентов, что разделить ее существовавшими химическими методами было почти невозможно. Тогда ученый пропустил раствор смеси по каплям через стеклянную трубку (колонку), заполненную порошком окиси алюминия. Поверхность ча-

стиц порошка с разной силой удерживала различные вещества смеси. Когда смесь смывали свежим растворителем, вещества разделялись. Компоненты, наименее прочно связанные с поверхностью порошка, смывались в первую очередь. В конце концов смесь оказывалась разделенной на отдельные пигменты, каждый из которых характеризовался определенной полосой цвета в спектре. Этот метод разделения по цвету получил название хроматографии (от греческих слов *chrōmatos* — окраска, цвет и *graphein* — записывать). К сожалению, работы Цвета прошли незамеченными. Только через полтора десятилетия Вильштеттер, вновь применив метод Цвета, добился его признания. Хроматографию стали широко применять для разделения сложных смесей.

Однако пользоваться колонкой из порошка окиси алюминия для разделения ничтожных количеств смеси было чрезвычайно сложно. Требовался более простой и надежный метод.

Выход был найден лишь в 1944 г., когда английские биохимики Арчер Джон Портер Мартин (род. в 1910 г.) и Ричард Лоуренс Миллингтон Синдж (род. в 1914 г.) использовали для метода хроматографии простую фильтровальную бумагу. Опыты проводили так. Каплю смеси аминокислот просушивали близ нижнего края полоски фильтровальной бумаги, а затем опускали его в специальный растворитель. Последний, по закону капиллярности, поднимался по полоске вверх. Проходя через высушенную каплю, растворитель увлекал за собой отдельные аминокислоты со скоростью, характерной для каждой конкретной аминокислоты. В итоге смесь аминокислот оказывалась разделенной. Расположение аминокислот на бумаге выявлялось посредством специальных физических и химических методов. Определить количество аминокислоты в каждом пятне не составляло труда.

Новый метод хроматографии на бумаге оказался на редкость эффективным. Он прост и дешев, не требует сложной аппаратуры, позволяет тщательно разделять ничтожные количества компонентов смеси. Метод получил широкое применение во всех областях биохимии. Им, в частности, воспользовался Кэлвин в своих экспериментах со смесью фотосинтезирующих

растительных клеток. По существу, исследования без применения метода хроматографии на бумаге стали немыслимы. С его помощью появилась возможность установить точное количество различных аминокислот того или иного белка. Это в свою очередь позволило определить аминокислотный состав одного белка за другим, подобно тому как устанавливают число атомов различных элементов, входящих в то или иное соединение.

Расположение аминокислот

Но всего этого оказалось недостаточно. Как известно, химиков интересует не только число атомов в любом соединении, но и их расположение. То же относится и к аминокислотам в молекуле белка. Вопрос о расположении аминокислот сложен. Даже если в молекуле всего несколько десятков аминокислот, число возможных сочетаний астрономически велико, а если их больше 500 (как, например, в гемоглобине, где молекула средней величины), число возможных расположений выражается цифрой из 600 знаков. Как же из такого невообразимого числа возможностей правильно выбрать наиболее вероятное расположение аминокислот каждого конкретного белка?

Оказалось, что с помощью метода хроматографии на бумаге эта проблема разрешается очень легко. Однако английскому биохимику Фредерику Сэнгеру (род. в 1918 г.) понадобилось восемь лет, чтобы исследовать этим методом молекулу инсулина, состоящую всего из 50 аминокислот! Сэнгер расщеплял молекулу на части, методом хроматографии на бумаге разделял короткие цепи и определял слагающие их аминокислоты, а также порядок расположения последних. Это было нелегкой задачей, ибо даже четырехкомпонентный фрагмент может располагаться 24 различными способами. Выявив, каким более коротким цепям дают начало длинные цепи, Сэнгер мало-помалу воссоздал структуру более длинных цепей. К 1953 г. он уже знал точный порядок аминокислот в молекуле инсулина.

Вслед за Сэнгером его методом воспользовался американский биохимик Винсент Виньо (род. в 1901 г.).

Он применил его к очень простой молекуле окситоцина (гормона задней доли гипофиза), состоящей всего из восьми аминокислот. Установив расположение аминокислот, Виньо попытался синтезировать соединение таким образом, чтобы каждая аминокислота находилась на полагающемся ей месте. Синтез был осуществлен в 1955—1956 гг.; полученный в результате синтетический окситоцин по своим свойствам не уступал природному гормону. Аналитический метод Сэнгера, равно как и синтез Виньо, впоследствии был повторен в более широком масштабе. В 1960 г. ученые установили расположение аминокислот в ферменте, названном рибонуклеазой. Молекула рибонуклеазы состоит из 124 аминокислот, это в два с половиной раза превышает число аминокислот в молекуле инсулина. Фрагменты рибонуклеазы синтезировали, после чего изучали их ферментативную активность. Таким образом, к 1963 г. удалось установить, что для функционирования молекулы существенно необходимы аминокислоты 12 и 13 (гистидин и метионин). Это было значительным шагом вперед в определении точного механизма функционирования молекулы фермента.

К середине текущего столетия белковая молекула оказалась «прирученной».

Вирусы и гены

Итак, молекула белка стала управляемой. И вдруг совершенно неожиданное, поразительное открытие: химическая основа жизни вовсе не молекула белка, а другая частичка. Только когда принялись за изучение природы фильтрующихся вирусов, стала ясна огромная важность этого открытия.

Природа вирусов представляла загадку для целого поколения. Известно, что вирусы вызывают заболевания, были даже разработаны методы борьбы с ними. Однако физические свойства вирусов все еще оставались неизвестными. Решающую роль в определении размера вирусов сыграло изобретение фильтров достаточно мелкопористых, чтобы задерживать вирусные частицы. Вирусы оказались немного меньше, чем мельчайшие из известных клеток, но значительно больше самой крупной белковой молекулы. Разглядеть вирусы позволил лишь электронный микроскоп. Их размеры варьируют в широких пределах, начиная от вирусов — мельчайших точек — и до сравнительно крупных структур строго геометрической формы с различным внутренним строением. К наиболее крупным вирусам относятся бактериофаги, которые «охотятся» за мелкими микроорганизмами; некоторые фаги имеют хвостики и напоминают крошечных головастика. Крупнее вирусов, но мельче бактерий риккетсии, названные так в честь Риккетса. Риккетсии вызывают, в частности, пятнистую лихорадку Скалистых гор — заболевание, изученное бактериологами.

Возник вопрос, являются ли вирусы живыми организмами. В 1935 г. американский биохимик Уэнделл Мередит Стенли (род. в 1904 г.), работая с экстрактом вируса табачной мозаики, получил игольчатые кристаллы. Оказалось, что эти кристаллы обладают

высокой инфекционностью. Другими словами, ученый получил вирус в кристаллическом виде, а живые кристаллы — явление трудно объяснимое.

С другой стороны, нельзя ли допустить, что клеточная теория неточна и что клетки не являются неделимыми единицами жизни? Вирус много мельче клетки и в противоположность ей ни при каких условиях не способен существовать независимо. Однако вирусу удается проникнуть в клетку, размножиться там и в некоторых основных проявлениях вести себя, как живое существо.

Нет ли каких-либо внутриклеточных образований, каких-либо доклеточных элементов, которые были бы действительной основой жизни — структурой, управляющей остальной частью клетки? Не является ли вирус таким клеточным компонентом, когда-то и как-то отщепившимся от клетки, но готовым заселить ее и сделать чуждой истинному «хозяину»?

Если это так, такие доклеточные компоненты должны были бы находиться и в нормальных клетках. Кандидатами на эту роль, вероятнее всего, следует считать хромосомы. В первые годы нашего столетия стало очевидным, что хромосомы несут в себе факторы, управляющие наследованием физических свойств. Это определяет их руководящее положение в клетке, как и можно было ожидать от ключевых доклеточных компонентов. Однако хромосома значительно крупнее вируса.

Но число хромосом гораздо меньше количества наследуемых признаков. Отсюда можно было сделать вывод, что одна хромосома состоит из многих, возможно тысяч, частиц, каждая из которых управляет отдельным признаком. Эти отдельные частицы датский ботаник Вильгельм Людвиг Иогансен (1857—1927) в 1909 г. назвал генами (в переводе с греческого — дать жизнь чему-либо).

Однако в первое десятилетие XX в. отдельного гена, как и отдельных вирусов, еще не удавалось увидеть, хотя его проявления довольно успешно наблюдались. Ключ к этим исследованиям подобрал американский генетик Томас Хант Морган (1866—1945), использовав в 1910 г. новый биологический объект — плодовую мушку дрозophilу. Это маленькое насекомое

неприхотливо, довольно легко размножается; кроме того, наличие в клетках дрозофилы всего четырех пар хромосом облегчает исследования.

Изучая эту мушку поколение за поколением, Морган обнаружил огромное количество мутаций. Ему удалось показать, что различные признаки связаны, то есть наследуются как один комплекс. Значит, гены, управляющие этими признаками, должны находиться на одной хромосоме, которая и наследуется как целое. Но сцепленные друг с другом признаки связаны не на век. Бывает, что один из признаков наследуется без связи с другим. Это происходит потому, что пары хромосом случайно обмениваются участками (кроссинговер), так что целостность отдельной хромосомы не абсолютна.

Подобные опыты позволили определить место каждого конкретного гена на хромосоме. Чем больше расстояние между двумя генами, тем больше вероятность переkreщивания произвольно расположенных генов. Изучая частоту, с которой расщепляются два особым образом связанных признака, можно определить относительное положение генов. В 1911 г. была составлена первая карта расположения генов в хромосомах (для дрозофилы). Один из учеников Моргана, американский генетик Герман Иозеф Мёллер (1890—1967), предложил метод увеличения частоты мутаций (1919). Он обнаружил, что повышение температуры увеличивает частоту мутаций. Это не было результатом общего «перемешивания» генов. Всегда оказывалось, что поражен один ген, тогда как его дубль на другой хромосоме данной пары оставался нетронутым. Мёллер пришел к выводу, что эти изменения происходят на молекулярном уровне. Следующим шагом в его исследованиях было применение рентгеновских лучей, обладавших более высокой энергией, чем легкое нагревание. Отдельный рентгеновский луч, попав в хромосому, действует на нее в определенной точке. И действительно, в 1927 г. Мёллеру удалось доказать, что рентгеновские лучи значительно повышают темп мутирования. Эти исследования продолжил американский ботаник Альберт Фрэнсис Блэксли (род. в 1874 г.). В 1937 г. он показал, что темп мутаций можно повысить, действуя специфическими веществами

(мутагенными факторами). Лучшим мутагенным фактором оказался колхицин — алкалоид, выделенный из безвременника (семейство ирисовых).

Таким образом, к середине 30-х годов и вирусы и гены утратили покров таинственности. И те и другие оказались молекулами примерно одной и той же величины и близкой химической природы. А нельзя ли гены считать «прирученными» клеточными вирусами? И может ли вирус быть «диким геном»?

Роль ДНК

Как только получили кристаллическую форму вирусов, стало возможным вести исследования по методу дифракции рентгеновских лучей. Вирусы, безусловно, относились к белкам, будучи особой их разновидностью, носящей название нуклеопротеидов. Успехи техники окрашивания препаратов позволили выяснить химическую природу отдельных субклеточных структур. Было установлено, что хромосомы (а следовательно, гены) также относятся к нуклеопротеидам. Молекула нуклеопротеида состоит из молекулы белка, связанной с фосфорсодержащим веществом, известным под названием нуклеиновой кислоты. Впервые нуклеиновые кислоты открыл в 1868 г. швейцарский биохимик Фридрих Мишер (1844—1895) в ядрах клеток гноя. Долгое время их считали специфически ядерным компонентом. Когда оказалось, что нуклеиновые кислоты присутствуют и вне ядер, уже поздно было менять название. Нуклеиновые кислоты подробно изучил немецкий биохимик Альбрехт Коссель (1853—1927), которому в 1880 г. удалось расщепить их на более мелкие составные части, включавшие фосфорную кислоту и сахар, точного состава которых он не смог определить. Кроме того, в нуклеиновой кислоте он обнаружил два соединения класса пуринов, молекулы которых представляли циклические соединения с двумя кольцами, содержащими четыре атома азота. Эти вещества Коссель назвал аденином и гуанином (а иногда просто обозначал буквами А и Г). Он обнаружил также три пиримидина (вещества с одним кольцом, содержащие два атома азота), которые были названы им цитозином, тиминном и урацилом

(Ц, Т и У). Американский химик Фебус Арон Теодор Левин (1869—1940), изучая эти вещества на протяжении 20-х и 30-х годов, показал, что в молекуле нуклеиновой кислоты молекула фосфорной кислоты, молекула сахара и молекула одного из пуринов или пиримидинов образуют трехкомпонентное соединение, которое он назвал нуклеотидом. Молекула нуклеиновой кислоты состоит из цепочки этих нуклеотидов, подобно тому как молекула белка — из цепей аминокислот. Нуклеотидная цепь построена так, что молекула фосфорной кислоты одного нуклеотида связана с сахарной группировкой соседнего нуклеотида. Это и есть сахаро-фосфатный скелет, от которого отходят отдельные пурины и пиримидины.

Далее Левин показал, что сахара нуклеиновых кислот могут быть двух типов: рибоза, содержащая только пять атомов углерода вместо шести, как это имеет место в хорошо изученных сахарах, и дезоксирибоза, в которой на один атом кислорода меньше, чем в рибозе. Каждая молекула нуклеиновой кислоты содержит тот или иной сахар, но отнюдь не оба одновременно. Таким образом, различаются два типа нуклеиновых кислот: рибонуклеиновая (РНК) и дезоксирибонуклеиновая (ДНК). Каждая нуклеиновая кислота включает пурины и пиримидины четырех различных типов. В ДНК нет урацила, в ее состав входят А, Г, Ц и Т, в то время как в РНК нет тимина, а только А, Г, Ц и У. Шотландский химик Александр Тодд (род. в 1907 г.) подтвердил данные Левина, синтезировав в 40-х годах различные нуклеотиды.

Вначале биохимики не придали большого значения нуклеиновым кислотам. Хотя и было известно, что белковая молекула связана с различными небелковыми дополнениями, вроде сахаров, жиров, металлов и витаминсодержащих соединений и т. д., считалось, что белок представляет собой основную часть молекулы. Даже после того, как нуклеопротеиды обнаружили в хромосомах и вирусах, биохимики не потеряли уверенности, что нуклеиновые кислоты — это второстепенная часть молекулы.

В 90-х годах прошлого столетия Коссель провел наблюдение, все значение которого стало понятно гораздо позже.

Сперматозоиды почти целиком состоят из тесно лежащих хромосом и содержат химические вещества, несущие полную информацию, благодаря которой потомству передаются отцовские наследственные признаки. Однако Коссель нашел, что белки сперматозоидов значительно проще, чем белки других тканей, в то время как нуклеиновая кислота подобна нуклеиновой кислоте тканей тела. Отсюда с большой вероятностью вытекало, что наследственная информация заключена скорее в неизменных молекулах нуклеиновых кислот спермы, чем в ее чрезвычайно упрощенном белке.

Но вера в молекулу белка еще не была поколеблена, так как результаты исследований 30-х годов говорили о слишком простом, чтобы нести наследственную информацию, строении нуклеиновых кислот, представляющих очень мелкие молекулы, которые состоят только из четырех нуклеотидов.

Поворотным пунктом явились исследования, проведенные в 1944 г. рядом ученых под руководством американского бактериолога Освальда Теодора Эвери (1877—1955), работавших со штаммами пневмококков (возбудителей пневмонии). У части штаммов была гладкая форма (S-штаммы) и наружная оболочка вокруг клетки (капсула), у другой — шероховатая без оболочки (R-штаммы).

По-видимому, у R-штаммов отсутствовала способность синтезировать вещество капсулы. Вытяжка из S-штаммов, добавленная к R-штаммам, превращала последние в S-штаммы. Сама по себе вытяжка не может образовывать капсулы, но, по-видимому, вызывает такие изменения в R-штаммах, которые позволяют бактериям справиться с этой задачей. Вытяжка несет генетическую информацию, необходимую для изменения физических свойств бактерии. Но самая поразительная часть опыта выявилась при анализе вытяжки, которая представляла собой раствор, состоящий исключительно из нуклеиновой кислоты без примеси каких-либо белков. Итак, по крайней мере в этом случае, нуклеиновые кислоты, а не белок были генетическим материалом. С этого момента стало ясно, что именно нуклеиновая кислота — первичная и ключевая основа жизни. А так как в том же, 1944 г.

впервые осуществили метод хроматографии на бумаге, то 1944 г., так же как и 1859 г., когда вышло в свет «Происхождение видов», можно справедливо назвать годом величайших биологических событий.

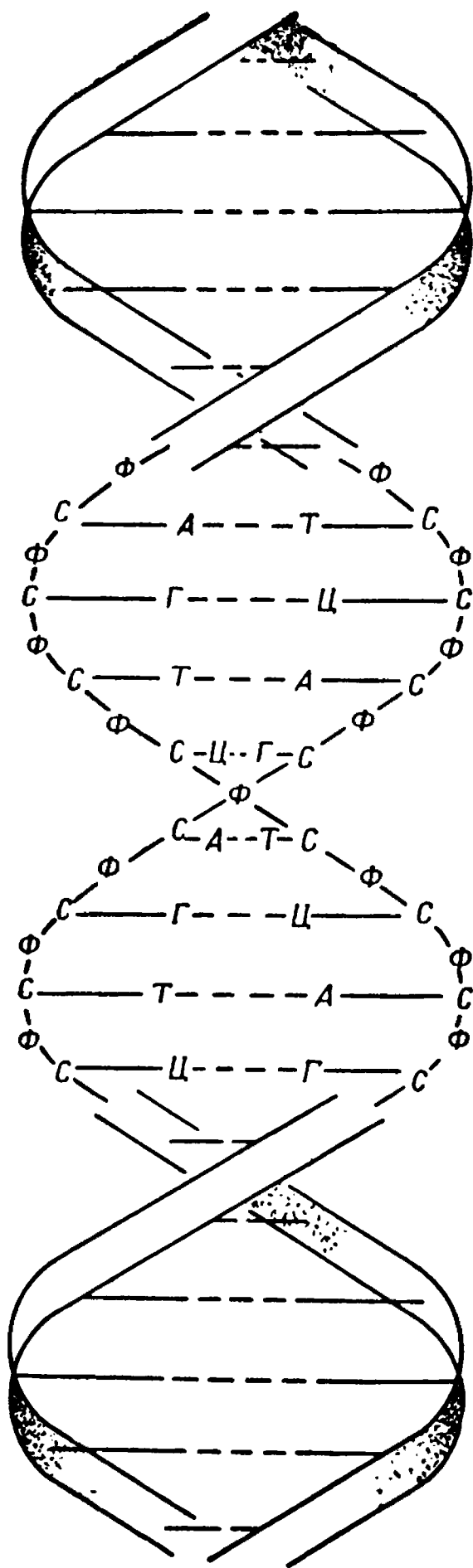
Начиная с 1944 г. новый взгляд на нуклеиновые кислоты получил наибольшее обоснование благодаря исследованиям вирусологов. Было показано, что вирусы имеют внешнюю белковую оболочку, внутри которой находится молекула нуклеиновой кислоты. В 1955 г. американскому биохимику Гейнцу Френкель-Конрату (род. в 1910 г.) удалось разделить вирус на две составные части и вновь соединить их. Белковая часть сама по себе не обладала никакими инфекционными свойствами, она была мертва. Часть, содержащая нуклеиновую кислоту, была живой, инфекционной, хотя наибольшую активность проявляла в присутствии белкового компонента.

Использование радиоактивных изотопов показало, что при внедрении бактериофага в бактериальную клетку проникает только та его часть, которая состоит из нуклеиновой кислоты, а белковая остается снаружи. Внутри клетки нуклеиновая кислота вызывает образование не только новых молекул нуклеиновой кислоты, подобных себе (а не нуклеиновой кислоте клетки), но и молекул белка, характерного для бактериофага, а не для клетки. Не остается никаких сомнений, что именно молекула нуклеиновой кислоты, а не белок несет генетическую информацию.

Молекулы вируса содержат либо ДНК, либо РНК, либо обе нуклеиновые кислоты одновременно. В клетке, однако, ДНК обнаружена исключительно в генах. А поскольку гены являются единицами наследственности, окончательно проясняется значение ДНК.

Структура нуклеиновой кислоты

С работ Эвери началось энергичное изучение нуклеиновых кислот. Впечатление, что нуклеиновые кислоты представляют собой мелкие молекулы, создавалось потому, что ранние методы их выделения были достаточно грубы и расщепляли молекулу на более мелкие фрагменты. Более тонкие методы показали,



Р и с. 7. Двойная спираль молекулы ДНК.

Тяжи скелета состоят из чередующихся групп сахаров (С) и фосфатов (Ф). Внутри ответвляются азотистые основания: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т) и цитозин (Ц). Пунктирные линии — водородные связи, которые соединяют тяжи спиралей. В процессе репликации каждый из скелетов воспроизводит свой комплект из пуринов и пиримидинов (А, Г, Ц, Т), которые всегда присутствуют в клетке.

что молекулы нуклеиновой кислоты крупнее даже самых больших молекул белка.

Американский биохимик Эрвин Чаргафф (род. в 1905 г.) расщепил молекулу нуклеиновой кислоты и подверг ее фрагменты хроматографическому разделению на бумаге. В конце 40-х годов он показал, что в молекуле ДНК число пуриновых групп равно числу пиримидиновых. А если говорить конкретно, то число групп аденина (пурин) обычно равно числу тиминовых (пиримидин), в то время как количество групп гуанина (пурин) равно числу цитозиновых (пиримидин). Это можно выразить так: А-Т и Г-Ц.

Английский физик Маурис Хью Фредерик Уилкинс (род. в 1916 г.) в начале 50-х годов применил к изучению ДНК метод дифракции рентгеновских лучей. Его коллеги по Кембриджскому университету английский биохимик Фрэнсис Гарри Комптон Крик (род. в 1916 г.) и американский биохимик Джеймс Дьюк Уотсон (род. в 1928 г.) попытались представить структуру молекулы так, чтобы она объясняла данные Уилкинса. Незадолго до

этого Полинг выдвинул гипотезу винтообразного спиралевидного строения белков. Крику и Уотсону казалось, что молекула ДНК, построенная по винтообразной спирали, соответствовала бы данным Уилкинса.

Однако им пришлось допустить существование двойной винтообразной спирали, чтобы объяснить также и данные Чаргаффа. Образно они представляли себе молекулу состоящей из двух сахаро-фосфатных скелетов, извивающихся вокруг общей оси и создающих цилиндрическую форму молекулы. Внутри, к центру цилиндра, ответвляются пурины и пиримидины. Для сохранения одинакового диаметра на всем протяжении цилиндра крупные молекулы пуринов должны примыкать к мелким молекулам пиримидинов, то есть А к Т, Г к Ц, что и объясняет данные Чаргаффа.

Более того, возникает приемлемое объяснение основных стадий митоза, удвоения хромосом и близкого к этой проблеме механизма репродуцирования вируса в клетке. Каждая молекула ДНК образует отпечаток самой себя (реплику) следующим образом: оба сахаро-фосфатных скелета разворачиваются, и каждый служит моделью для нового комплекта. В каком бы месте скелета ни находился аденин, из наличных запасов клетки выбирается именно молекула тимина, и наоборот. Где бы ни размещалась молекула гуанина, она выбирает именно молекулу цитозина, и наоборот. Таким образом, скелет 1 образует новый скелет 2, в то время как скелет 2 образует новый скелет 1. Довольно быстро возникают две двойные винтообразные спирали там, где до этого существовала лишь одна. Если молекула ДНК реплицирует себя по всей длине хромосомы (или вируса), то процесс кончается образованием двух идентичных хромосом там, где была только одна. Но не всегда этот процесс протекает до конца вполне гладко. Если какое-либо воздействие нарушает ход репликации, новая молекула ДНК несколько отличается от своего «предка»; в этом случае мы имеем дело с мутацией.

Модель молекулы ДНК, созданная Уотсоном и Криком, увидела свет в 1953 г.

Генетический код

Но как молекула нуклеиновой кислоты передает информацию, касающуюся физических свойств? Ответ на этот вопрос дали результаты исследований американских генетиков Джорджа Уэлса Бидла (род. в 1903 г.) и Эдварда Лаури Тэтума (род. в 1909 г.). В 1941 г. они начали серию экспериментов с плесневым грибом *Neurospora crassa*, способным благодаря синтезу аминокислот из более простых азотсодержащих соединений жить на питательной среде, лишенной аминокислот.

Если подействовать на плесень рентгеновскими лучами, возникают мутанты. Некоторые из них теряют способность продуцировать нужные аминокислоты. Один мутантный штамм, например, потерял способность образовывать аминокислоту лизин, и, чтобы поддержать жизнь этого штамма, ее приходилось вводить в питательную среду. Подобная дефективность, как показали Бидл и Тэтум, зависит от отсутствия специфического фермента, имеющегося у нормального немутантного штамма. Отсюда они сделали вывод, что способность продуцировать лизин представляет специфическую функцию особого гена, управляющего образованием данного фермента.

Молекулы нуклеиновой кислоты, передаваемые через сперматозоид или яйцеклетку, обладают способностью продуцировать особый набор ферментов. Назначение этих ферментов — управлять химизмом клетки. Химизм клетки в свою очередь ответствен за все свойства, наследственность которых и изучали Бидл и Тэтум. Таким образом, можно было перекинуть мостик от ДНК к физическим признакам организма. Так как ДНК генов остается в пределах ядра, а синтез белка протекает вне ядра, образование ферментов генами, вероятно, проходит через промежуточные продукты. Электронно-микроскопическое изучение клетки раскрыло более тонкие детали ее строения и определило точное место белкового синтеза.

В клетке в большом количестве были найдены организованные гранулы, значительно более мелкие, чем митохондрии, и потому названные микросомами (от греческих слов *mikros* — малый и *soma* — тело).

В 1956 г. одному из наиболее энергичных исследователей микросом, американцу Джорджу Эмилю Паладе (род. в 1912 г.), удалось показать, что они богаты РНК (поэтому их переименовали в рибосомы). Тогда и обнаружили, что именно рибосомы являются местом синтеза белка.

Но генетическая информация от хромосом должна дойти до рибосом. Это осуществляет особая разновидность РНК, названная информационной; информационная РНК точно повторяет структуру определенного участка ДНК хромосом, составляющего единицу наследственной информации — ген, и переносится из ядра в цитоплазму клетки, где и прикрепляется к рибосоме. Но для того, чтобы синтезировались белки, необходимы аминокислоты, которые образуются при помощи ферментов в самой клетке или поступают с пищевыми продуктами. Проблему доставки аминокислот в рибосомы впервые изучил американский биохимик Мелон Буш Хогленд (род. в 1921 г.). Он установил, что каждая аминокислота, прежде чем попасть к месту синтеза белков, соединяется с транспортной РНК, которая и переносит их на соответствующее место информационной РНК.

Оставалось неясным: как молекула данной транспортной РНК прикрепляется к данной аминокислоте? Проще всего было бы представить, что аминокислота прикрепляется к пуринам и пиримидинам нуклеиновой кислоты; к каждому пурину или пиримидину — разные аминокислоты. Однако из 20 различных аминокислот молекулы белка на молекулу нуклеиновой кислоты приходится лишь четыре пурина и пиримидина. По этой причине вполне очевидно, что к каждой аминокислоте должна подходить комбинация по крайней мере из трех нуклеотидов. (Из трех нуклеотидов возможны 64 различные комбинации.)

Подгон комбинаций тринуклеотидов к аминокислоте (то есть какая комбинация нуклеотидов и в какой последовательности в составе информационной РНК соответствует определенной аминокислоте) представлял самую важную биологическую проблему начала 60-х годов, относящуюся к расшифровке генетического кода. В этом направлении наиболее активно работает американский биохимик Северо Очоа (род. в 1905 г.).

Происхождение жизни

Итак, достижения молекулярной биологии к середине XX в. чрезвычайно сильно укрепили материалистические позиции. Всю генетику можно было истолковывать с точки зрения химии, согласно законам, одинаково справедливым для живой и неживой природы. Даже мозг подвергался этому натиску. Вполне возможно, что процессы обучения и запоминания являются не только процессами возникновения и закрепления нервных путей, но и представляют собой синтез и сохранение специфических молекул РНК.

Оставался незатронутым лишь один аспект биологии XIX в., в котором еще господствовала виталистическая точка зрения, — факт недоказанности самопроизвольного зарождения. Если формы жизни действительно никогда не могли развиться из неживой материи, как тогда возникла жизнь? Легче всего было предположить, что жизнь создана сверхъестественными силами. В 1908 г. шведский химик Сванте Август Аррениус (1859—1927) выдвинул гипотезу происхождения жизни без участия сверхъестественных сил. Он высказал мысль, что жизнь на Земле началась тогда, когда на нашу планету из космоса попали зародыши жизни. «Частицы жизни», носящиеся в бескрайних космических пространствах, переносимые давлением света от звезд, оседали то здесь, то там, осеменяя ту или иную планету. Гипотеза Аррениуса лишь отодвигала решение проблемы. Если жизнь была занесена на нашу планету извне, как она возникла там, откуда к нам попала?

А может быть, жизнь все-таки возникла из неживой материи? Колбы Пастера сохранялись стерильными в течение какого-то ограниченного времени; а если их оставить на миллиарды лет? Или вместо колб представить целый океан раствора в условиях, далеких от современных?

Нет причин думать, что основные химические вещества, складывающие живое, существенно менялись на протяжении веков. Весьма вероятно, что они не изменились. Действительно, аминокислоты, выделенные в небольших количествах из некоторых ископаемых

организмов, насчитывающих десятки миллионов лет, оказались идентичными аминокислотам, встречающимся в живых тканях современных организмов. И все же химизм мира в целом мог измениться.

Новые данные по химии Вселенной позволили американскому химику Гарольду Клейтону Ури (род. в 1893 г.) предположить, что первичная атмосфера Земли состояла из водорода и водородсодержащих газов, таких, как метан и аммиак; в ней совершенно отсутствовал свободный кислород, а значит, в ее верхних слоях не было озона (одной из форм кислорода). Сейчас такой слой озона существует и поглощает значительную часть ультрафиолетовых лучей солнечного света. В бедной первичной атмосфере несущая энергию радиация, возможно, проникала до океана, где и вызывала такие реакции, которых в настоящее время уже не может быть. Постепенно могли создаваться комплексы молекул; при отсутствии жизни они не потреблялись, а скапливались. В итоге реплицирующиеся молекулы создавали комплекс нуклеиновых кислот, и это было основой жизни.

Благодаря мутациям и действию естественного отбора образовывались все более активные формы нуклеиновых кислот. Эти кислоты могли превратиться в клетки; последние, возможно, начали синтезировать хлорофилл. Фотосинтез (с помощью других процессов, в которые не вовлекались, вероятно, живые организмы) мог обогатить первичную атмосферу Земли свободным кислородом. А в такой атмосфере и в мире, где кишит жизнь, самопроизвольное зарождение описанного выше типа, вероятно, было бы уже невозможно.

Эта гипотеза, хотя и тщательно продуманная, в значительной степени остается гипотезой. Однако в 1953 г. один из учеников Ури, Стенли Ллойд Миллер (род. в 1930 г.), поставил очень интересный опыт. Он взял тщательно очищенную и стерилизованную воду и добавил к ней «атмосферу» из водорода, аммиака и метана. Миллер заставлял эту смесь циркулировать в герметически изолированном приборе, через который пропускал электрические разряды, имитирующие ультрафиолетовое солнечное излучение. Опыт шел в

течение недели, после чего Миллер разделил содержимое прибора методом хроматографии на бумаге. В растворе обнаружились простые органические соединения и даже несколько простейших аминокислот.

В 1962 г. схожие опыты были повторены в Калифорнийском университете. К атмосфере добавляли этан (соединение, очень сходное с метаном, но содержащее два атома углерода). В результате было получено еще большее разнообразие органических соединений. И наконец, в 1963 г. подобным же образом синтезировали аденозинтрифосфат, один из основных высокоэнергетических фосфатов.

Если это воспроизводимо в течение недели в небольшом приборе, чего же можно ожидать за миллиарды лет в огромном океане и одевающей его атмосфере?

Очень трудно представить процесс эволюции на ранних этапах существования Земли, но когда мы попадем на Луну, мы, возможно, познакомимся с химическими процессами дожизненных формаций. А если доберемся до Марса, вероятно, изучим простые формы жизни, развивающиеся в условиях, совершенно отличных от условий Земли. Все это, несомненно, послужит углубленному пониманию земных проблем.

Даже на нашей собственной планете мы с каждым годом узнаем все больше нового. В 1960 г. человек проник в самые недоступные глубины океана, в условия, совершенно чуждые ему. Вероятно, именно в океане мы установим контакт с нечеловеческим разумом, каким, по-видимому, обладают дельфины.

А человеческий мозг — не раскроет ли он свои секреты, если подойти к его изучению с позиций молекулярной биологии? Благодаря успехам кибернетики и электроники, возможно, удастся создать неодушевленные мыслящие системы.

Но зачем предаваться гаданиям, когда нужно только подождать? Пожалуй, в том и заключается величие науки, что в будущем она обещает гораздо более удивительное и великое, чем все, что сделано ею в прошлом. Сколько нового еще будет открыто нашими современниками?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский Г. В., История неврологии от истоков до XX века, изд-во «Медицина», М., 1965.
2. Белозерский А. Н. и Микulinский С. Р., Успехи советской биологии, изд-во «Знание», М., 1967.
3. Бирюков Д. А. и Михайлов В. П., Эволюционно-морфологические и физиологические основы развития медицины за советский период, Медгиз, Л., 1957.
4. Завадовский М. М., Основные этапы истории экспериментальной биологии (зоологии) в России, Уч. зап. МГУ, вып. 103, т. 2, кн. I, М., 1946.
5. Из истории отечественной биологии XVIII—XIX веков, Сб. статей под ред. Коштойнца Х. С. и Соболя С. Л., Изд-во АН СССР, М., 1953.
6. История естествознания в России, тт. 1—3, Изд-во АН СССР, М., 1957—1962.
7. История медицины СССР, Сб. статей под ред. Петрова Б. Д., изд-во «Медицина», М., 1964.
8. Карасик В. М., Прошлое и настоящее фармакологии и лекарственной терапии (исторический очерк), изд-во «Медицина», Л., 1965.
9. Коштойнец Х. С., Очерки по истории физиологии в России, Изд-во АН СССР, М. — Л., 1946.
10. Лункевич В. В., От Гераклита до Дарвина, Очерки по истории биологии, изд. 2, тт. 1—2, М. — Л., 1960.
11. Люди русской науки (биология, медицина), Госиздат, Физматлит, М., 1963.
12. Майоров Ф. П., История учения об условных рефлексах, Изд-во АМН СССР, М. — Л., 1954.
13. Матвеев Б. С., Русская школа морфологов и ее роль в развитии дарвинизма, Уч. зап. МГУ, вып. 103, т. 2, кн. I, М., 1946.
14. Развитие биологии в СССР за 50 лет, изд-во «Наука», М., 1967.
15. Райков Б. Е., Очерки по истории эволюционной идеи в России до Дарвина, тт. 1—3, Изд-во АН СССР, М. — Л., 1947—1955.
16. Ручковский Б. С., Очерки развития советской экспериментальной онкологии, Изд-во АН УССР, К., 1959.
17. Старосельская-Никитина О. А., История естествознания, Литература, опубликованная в СССР, тт. 1—4, М., 1949—1955.
18. Толкачевская Н. Ф., Развитие биохимии животных, Краткий исторический очерк, Изд-во АН СССР, М., 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	5
Глава I. Древняя биология	
Зарождение науки	7
Ионийская школа	9
Афинская школа	11
Александрийцы	13
Эпоха римского владычества	15
Глава II. Биология в средние века	
Мрачное время	18
Эпоха Возрождения	20
Переходный период	23
Глава III. Рождение современной биологии	
Новая анатомия	25
Кровообращение	27
Начала биохимии	31
Появление микроскопа	32
Глава IV. Классификация живых форм	
Самопроизвольное зарождение	36
Расположение видов в системе	39
На подступах к теории эволюции	41
Геологические предпосылки	44
Глава V. Химия клетки	
Газы и жизнь	48
Органические соединения	51
Ткани и эмбрионы	55
Глава VI. Эволюция	
Естественный отбор	61
Борьба вокруг эволюционной теории	65
Происхождение человека	67
Боковые ветви эволюционной теории	69
Глава VII. У истоков генетики	
Слабое место в теории Дарвина	72
Горох Менделя	73
Мутации	77
Хромосомы	79
Глава VIII. Конец витализма	
Азот и диета	84
Калориметрия	86

Брожение	88
Ферменты	91
Глава IX. Борьба с болезнями	
Вакцинация	95
Микробная теория болезней	97
Бактериология	98
Насекомые	101
Факторы питания	103
Витамины	106
Глава X. Нервная система	
Гипноз	109
Нервы и головной мозг	112
Поведение	115
Нервные потенциалы	118
Глава XI. Кровь	
Гормоны	121
Серология	124
Группы крови	125
Вирусные заболевания	128
Аллергия	132
Глава XII. Обмен веществ	
Химиотерапия	135
Антибиотики и пестициды	137
Продукты промежуточного обмена	140
Радиоактивные изотопы	145
Глава XIII. Молекулярная биология: белок	
Ферменты и коферменты	148
Электрофорез и дифракция рентгеновских лучей	150
Метод хроматографии	154
Расположение аминокислот	156
Глава XIV. Молекулярная биология: нуклеиновая кислота	
Вирусы и гены	159
Роль ДНК	162
Структура нуклеиновой кислоты	165
Генетический код	168
Происхождение жизни	170
Рекомендуемая литература	173

А. А з и м о в

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ БИОЛОГИИ

Редактор *Р. В. Дубровская*
Оформление художника *В. Б. Янкилевского*
Художественный редактор *Ю. Л. Максимов*
Технический редактор *А. Д. Хомяков*
Корректор *Н. В. Спичкина*

Сдано в производство 31/VII 1967 г.
Подписано к печати 13/XI 1967 г.
Бумага № 2 84×108¹/₃₂=2,75 бум. л.
Усл. печ. л. 9,24. Уч.-изд. л. 8,61.
Изд. № 12/4021. Цена 44 к. Зак. 813.

ИЗДАТЕЛЬСТВО „МИР“

Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ленинградская типография № 2
имени Евгении Соколовой
Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР.
Измайловский проспект, 29

ШКОЛЬНЫЕ УЧЕБНИКИ СССР

[SHEBA.SPB.RU/SHKOLA](http://sheba.spb.ru/shkola)